

María Ester Brandan

# ARMAS Y EXPLOSIONES NUCLEARES

La humanidad en peligro



## La Ciencia para Todos

Desde el nacimiento de la colección de divulgación científica del Fondo de Cultura Económica en 1986, ésta ha mantenido un ritmo siempre ascendente que ha superado las aspiraciones de las personas e instituciones que la hicieron posible. Los científicos siempre han aportado material, con lo que han sumado a su trabajo la incursión en un campo nuevo: escribir de modo que los temas más complejos y casi inaccesibles puedan ser entendidos por los estudiantes y los lectores sin formación científica.

A los diez años de este fructífero trabajo se dio un paso adelante, que consistió en abrir la colección a los creadores de la ciencia que se piensa y crea en todos los ámbitos de la lengua española —y ahora también del portugués—, razón por la cual tomó el nombre de La Ciencia para Todos.

Del Río Bravo al Cabo de Hornos y, a través de la mar Océano, a la Península Ibérica, está en marcha un ejército integrado por un vasto número de investigadores, científicos y técnicos, que extienden sus actividades por todos los campos de la ciencia moderna, la cual se encuentra en plena revolución y continuamente va cambiando nuestra forma de pensar y observar cuanto nos rodea.

La internacionalización de La Ciencia para Todos no es sólo en extensión sino en profundidad. Es necesario pensar una ciencia en nuestros idiomas que, de acuerdo con nuestra tradición humanista, crezca sin olvidar al hombre, que es, en última instancia, su fin. Y, en consecuencia, su propósito principal es poner el pensamiento científico en manos de nuestros jóvenes, quienes, al llegar su turno, crearán una ciencia que, sin desdeñar a ninguna otra, lleve la impronta de nuestros pueblos.



# **ARMAS Y EXPLOSIONES NUCLEARES**

## **Comité de Selección**

Dr. Antonio Alonso  
Dr. Francisco Bolívar Zapata  
Dr. Javier Bracho  
Dr. Juan Luis Cifuentes  
Dra. Rosalinda Contreras  
Dr. Jorge Flores Valdés  
Dr. Juan Ramón de la Fuente  
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer  
Dr. Adolfo Guzmán Arenas  
Dr. Gonzalo Halffter  
Dr. Jaime Martuscelli  
Dra. Isaura Meza  
Dr. José Luis Moran López  
Dr. Héctor Nava Jaimes  
Dr. Manuel Peimbert  
Dr. José Antonio de la Peña  
Dr. Ruy Pérez Tamayo  
Dr. Julio Rubio Oca  
Dr. José Sarukhán  
Dr. Guillermo Soberón  
Dr. Elías Trábulse

## **Coordinadora**

María del Carmen Farías R.

María Ester Brandan

---

# ARMAS Y EXPLOSIONES NUCLEARES

La humanidad en peligro



---

**SEP**



la  
**ciencia/61**  
para todos

Primera edición (La Ciencia desde México), 1988  
Segunda edición, 1995  
Tercera edición (La Ciencia para Todos) 1998  
Cuarta edición, 2002  
Primera edición electrónica, 2010

---

Brandan, María Ester

Armas y explosiones nucleares: la humanidad en peligro / María Ester  
Brandan — 4ª ed. — México : FCE, SEP, CONACyT, 2002  
115 p. ; 21 × 14 cm — (Colec. La Ciencia para Todos ; 61)  
ISBN 978-968-16-6387-2

1. Armas nucleares 2. Física nuclear — Radiactividad 3. Divulgación científica I. Ser. II. t.

LC QC 792 7 B72

Dewey 508.2 C569 V.61

---

### *Distribución mundial*

D. R. © 1988, Fondo de Cultura Económica  
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.  
[www.fondodeculturaeconomica.com](http://www.fondodeculturaeconomica.com)  
Empresa certificada ISO 9001:2008

Comentarios: [laciencia@fondodeculturaeconomica.com](mailto:laciencia@fondodeculturaeconomica.com)  
Tel. (55) 5227-4672 Fax (55) 5227-4694

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio. Todos los contenidos que se incluyen tales como características tipográficas y de diagramación, textos, gráficos, logotipos, iconos, imágenes, etc. son propiedad exclusiva del Fondo de Cultura Económica y están protegidos por las leyes mexicana e internacionales del copyright o derecho de autor.

ISBN 978-607-16-0332-6 (electrónica)  
978-968-16-6387-2 (impresa)

Hecho en México - *Made in Mexico*

El poder liberado del átomo ha cambiado  
todo, excepto nuestra manera de pensar.

ALBERT EINSTEIN





## INTRODUCCIÓN

Los miles de bombas nucleares que hoy se guardan en los arsenales del planeta representan una amenaza real a la sobrevivencia de nuestra civilización y de la vida en general. Una guerra nuclear nos afectará a todos, no importa qué tan alejado se encuentre nuestro país del lugar de las explosiones.

Desde nuestra realidad latinoamericana, las noticias sobre un nuevo ensayo nuclear, las armas futuristas del proyecto "Guerra de las Galaxias", o las cifras inimaginables del gasto armamentista nos parecen un asunto lejano y ajeno. Esta obra contiene información técnica elemental acerca del diseño y funcionamiento de un arma nuclear, los efectos de las explosiones, y la magnitud de los arsenales existentes hoy en día. Es nuestra esperanza que estos elementos permitan al lector comprender cuan directamente atañe el asunto a todos los seres humanos.

La idea de escribir este libro tiene su origen en un artículo escrito para la revista de divulgación científica *Creces* (Santiago, Chile) en noviembre de 1983. La impresión que provocó ese trabajo demostró que el público latinoamericano se interesa en el tema y desea contar con información más completa que la proporcionada por las agencias noticiosas.

El libro está dirigido al público en general y su lectura no requiere de ningún conocimiento especializado en física o matemáticas. Se tratan asuntos técnicos e históricos

relacionados con las explosiones nucleares: el capítulo I describe el funcionamiento de una bomba nuclear; se señalan los efectos generales de una explosión sobre una ciudad moderna en el capítulo V y se discute el caso particular de una explosión de un megatón sobre la ciudad de México en el capítulo VI. En el VII se hacen predicciones sobre los efectos mundiales de una guerra entre las grandes potencias. Dentro de los temas históricos, el capítulo II expone aspectos relacionados con la construcción de la primera bomba atómica, el estado actual de los arsenales nucleares se describe en el capítulo III y los tratados internacionales que regulan la carrera armamentista, en el IV. La Iniciativa de Defensa Estratégica es discutida en el capítulo VIII y el costo de la actual construcción y mantenimiento de armas nucleares en el capítulo IX. El libro concluye con un análisis sobre las posibles medidas, a mediano y largo plazo, que lleven a disminuir el peligro actual de una guerra nuclear.

La autora agradece al doctor Carlos Bunge la lectura minuciosa y crítica de esta obra.

## I. Qué es y cómo funciona una bomba nuclear

MUCHAS veces hemos visto en el cine o en la televisión las imágenes sobrecogedoras de un ensayo nuclear sobre la superficie terrestre en que poco a poco se forma y asciende el característico hongo de polvo y humo. Hemos oído decir que el poder destructor de cada bomba nuclear es 1 000 000 de veces mayor que el poder destructivo de un explosivo químico, como serían la dinamita o el TNT. Podríamos, con todo derecho entonces, imaginarnos que una bomba nuclear ha de ser inmensamente voluminosa y pesada. Y la realidad es todo lo contrario: el combustible explosivo de una bomba de fisión tiene una masa alrededor de los 10 kilogramos y es del tamaño de una pelota de béisbol. ¿Cómo es posible que algo así de pequeño tenga tanto poder? ¿De qué manera se puede esconder dentro de una pelota de béisbol toda la energía que hemos visto liberarse y transformarse en luz, calor y polvo transportado a las alturas?

La respuesta a esta pregunta es simple. La materia está compuesta de unidades llamadas átomos que tienen en su centro un núcleo capaz de liberar, bajo ciertas condiciones, una cierta cantidad de energía. La energía que

cada núcleo puede liberar es pequeñísima comparada con las energías que conocemos en nuestra vida diaria. Por ejemplo, cada núcleo de uranio dentro de la bomba lanzada contra Hiroshima emitió una cantidad de energía equivalente a la que un aparato de radio de transistores necesita para funcionar durante una cien millonésima de segundo. Dicho de otra forma, se necesitarían unos cien millones de núcleos de uranio emitiendo energía ordenadamente para que nuestro receptor —suponiendo que la pudiera aprovechar en un 100%— funcione durante un segundo. Pero si la energía que cada núcleo puede liberar es tan poca, ¿cómo resulta una bomba tan poderosa? Esto se debe a que los átomos son unidades tan pequeñas que hay muchísimos en cada gramo de materia. Por ejemplo, un gramo de uranio tiene tantos átomos que el número de ellos requiere escribir un 3 seguido por 21 ceros. Recordando el ejemplo del radio de transistores, ahora podemos calcular cuánto tiempo funcionaría nuestro aparato si un gramo de uranio liberara su energía. El resultado es... 1 000 000 de años.

La energía almacenada en los núcleos de los átomos se llama energía nuclear. El ejemplo del aparato de radio nos enseña que si la energía es extraída lenta y controladamente de los núcleos, resulta ser muy útil. Éste es el principio de operación de un reactor nuclear. Sin embargo, hay otro modo de liberar la energía de los núcleos, y esto es hacerlo de manera rápida y violenta. Regresando al ejemplo, en vez de usar la energía nuclear durante mucho tiempo, podríamos lograr que todos los núcleos de un gramo de uranio liberaran su parte al mismo tiempo. La energía sería tanta que el proceso será una explosión tan potente como la de 17 mil kilogramos de TNT. Esto se consideraría como una explosión nuclear relativamente débil. La bomba detonada sobre Hiroshima fue unas mil veces más potente, ya que liberó tanta energía como la explosión de 13 mil toneladas de TNT.

La energía que cada núcleo de uranio libera cuando

explota una bomba proviene de su rompimiento (fisión) en núcleos más livianos. Por este motivo, a las bombas nucleares que utilizan como material combustible núcleos de elementos pesados se las llama *bombas de fisión* (también se las conoce como bombas atómicas o bombas A). Cada vez que un núcleo de uranio se fisiona se forman dos fragmentos de aproximadamente la mitad de la masa original, más dos o tres partículas livianas llamadas neutrones. Los neutrones, junto a los protones, son los constituyentes habituales de todos los núcleos. El uranio tiene 92 protones y 143 neutrones. Durante cada fisión algunos de los neutrones quedan libres y el resto, junto a todos los protones, pasan a formar el par de fragmentos. Este proceso de fisión ocurre de modo espontáneo, pero muy lentamente. Para poderlo aprovechar, ya sea en reactores o en bombas, hay que "ayudar" al uranio a romperse. Esto se consigue lanzando algunos neutrones, ya que al chocar con los núcleos de uranio los rompen y comienza la liberación de energía.

Podemos imaginarnos lo que ocurre adentro de un trozo de uranio: alguno de los neutrones enviados del exterior choca contra un primer núcleo de uranio, lo fisiona produciendo dos fragmentos y dos o tres nuevos neutrones que se alejan rápidamente del lugar, hasta que chocan, cada uno contra un núcleo de uranio, que a su vez se fisiona liberando dos o tres nuevos neutrones. Así se desarrolla una *reacción en cadena*, en que se tienen cada vez más fisiones debido a que cada una produce más de un neutrón libre. Existen mecanismos que pueden hacer "desaparecer" algunos de los neutrones, por ejemplo si algún núcleo diferente al fisiónable los absorbe o si simplemente se escapan del material. Para que las fisiones continúen, a pesar de las pérdidas de neutrones, debe haber en todo momento un número suficiente de neutrones. Esta condición, que depende del tipo de núcleo que se va a fisionar (no sólo sirve el uranio, sino también otros como el plutonio), de la forma y tamaño del apar-

to diseñado, y del material que rodea al combustible, define una masa crítica. Una masa crítica de combustible es la mínima que mantiene la reacción en cadena, y una bomba necesita una masa mayor que la crítica. Se opina que masas de un kilogramo del uranio fisionable (se lo llama uranio 235) serían suficientes para construir una bomba, si se cuenta con un excelente diseño. Un kilogramo de uranio es una esfera de cinco centímetros de diámetro, ¡el tamaño de una pelota de ping-pong!

El material que se usa como elemento fisionable de una bomba debe ser de alta pureza para aumentar la energía liberada y minimizar las pérdidas de neutrones. El uranio 235 es muy escaso en la naturaleza; en las minas de uranio solamente 0.7% de todo el uranio es del tipo 235, apropiado para reacciones de fisión. Para construir una bomba se necesita enriquecer el combustible hasta valores cercanos a 95%. Éste fue el gran problema técnico durante la construcción de las primeras bombas. Por otro lado, en un reactor nuclear, en que las fisiones ocurren de modo lento y controlado, no se necesita tener un enriquecimiento tan alto del combustible nuclear y generalmente éste no sobrepasa el 3%. Ésta es la razón (además del diseño) por la cual un reactor nuclear no podría explotar como una bomba.

Hacer que una bomba de fisión explote es relativamente simple. Una vez que se tiene cantidad suficiente de material fisionable como para sobrepasar la masa crítica se forman dos semiesferas que deben mantenerse separadas hasta el momento de la explosión. La explosión ocurrirá apenas las semiesferas se junten y algún neutrón inicie la reacción en cadena. Una fuente de neutrones externa actúa como iniciador de la detonación. La bomba de uranio 235 lanzada sobre la ciudad de Hiroshima fue del tipo "cañón". Consistía de un mecanismo de disparo, contenido adentro de la bomba, que lanzó una masa contra la otra a una velocidad de algunos kilómetros por segundo. Cada masa por separado era inferior a la masa

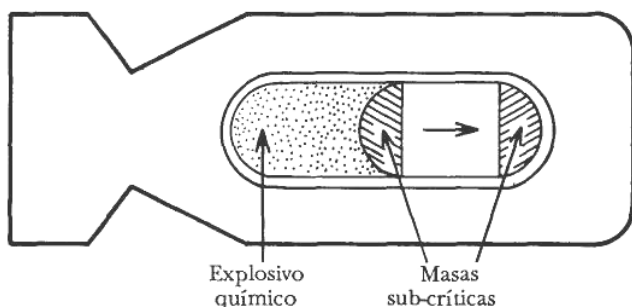


Figura 1. Diseño simplificado de una bomba tipo "cañón", como la que se utilizó en Hiroshima. El explosivo químico, al detonar, lanza una masa contra la otra, logrando que se forme la masa crítica necesaria para mantener la reacción en cadena.

crítica y apenas se juntaron la bomba explotó. El diseño era tan simple (figura 1) que nunca antes fue probado. En cambio, la bomba lanzada contra Nagasaki usaba plutonio 239 como combustible y el diseño tuvo que ser mucho más elaborado. Este núcleo emite muchos neutrones con espontaneidad y se corría el riesgo de que la bomba empezara a detonar antes de estar totalmente formada. La primera explosión nuclear, llamada Trinity, y que ocurrió un mes antes de Hiroshima en un terreno de pruebas en Los Álamos, fue el ensayo del mecanismo de ensamblaje que se usó en Nagasaki. La razón para usar bombas de plutonio en vez de uranio es la facilidad para conseguir el combustible. El enriquecimiento del uranio es un proceso difícil y costoso; en cambio, el plutonio para las bombas se produce en reactores nucleares especialmente diseñados y operados para tales fines.

Este tipo de bombas era todo lo que se tenía hasta 1952, año en que los Estados Unidos lograron producir un artefacto basado en otro proceso nuclear, igualmente liberador de energía. Éste consiste en la fusión de dos núcleos pequeños para formar uno más grande. El mismo proceso emplea el Sol para producir la energía que nos mantiene vivos. Las bombas que lo utilizan se llaman *bombas de*



*fusión*, pero son más conocidas como bombas termonucleares, bombas H, o bombas de hidrógeno. El primer artefacto termonuclear utilizó dos tipos de hidrógeno como combustible y el mecanismo era tan complicado que el aparato completo más bien parecía un edificio. Posteriormente se empezaron a fabricar con un compuesto de litio, mucho más fácil de manejar. Para que se produzca la fusión de los núcleos se necesitan temperaturas altísimas (de ahí el nombre termonuclear) y durante la explosión de una bomba H es una bomba de fisión la que produce la temperatura adecuada. Siempre una bomba de fusión contiene una de fisión como detonante.

Existe un tipo de bomba termonuclear de poca potencia en que se maximiza la producción de radiación (sobre todo neutrones) respecto de los otros efectos. El principal resultado de su detonación es el daño biológico causado por los neutrones y los rayos gamma emitidos durante la explosión. Se las llama armas de radiación intensificada, más conocidas como bombas de neutrones, y su fabricación por los Estados Unidos desde 1981 ha causado gran polémica. Debido al poco daño físico ("poco" quiere decir destrucción total en un radio de unos 600 metros) que producirían en los alrededores del punto de detonación a causa de su baja potencia, las bombas de neutrones resultan muy atractivas para las autoridades militares, pues se presenta la posibilidad de "solamente" causar víctimas sin destruir ni el equipo militar ni las instalaciones industriales del enemigo. Esto mismo las hace ser armas particularmente inhumanas.

Cada vez que se producen reacciones de fisión, tanto en la explosión de bombas atómicas como termonucleares, los fragmentos en que se rompe el uranio o el plutonio resultan ser núcleos radiactivos. Esto quiere decir que no son estables y para lograr estabilidad deben emitir radiación o partículas. Existen varios mecanismos de emisión radiactiva que se tardan tiempos muy variados, desde fracciones de segundo hasta miles de años en ocurrir.

La intensidad de la radiación emitida disminuye a medida que transcurre el tiempo, dependiendo de la rapidez con que cada núcleo se estabiliza. La consecuencia principal de este hecho es que, incluso mucho tiempo después de la explosión, algunos de los materiales que formaban parte de la bomba seguirán emitiendo radiación de modo espontáneo. La radiación emitida por los núcleos radiactivos es potencialmente dañina para los seres vivos, con efectos biológicos inmediatos y retardados, por lo que las consecuencias de una explosión para la población atacada y su ambiente se extienden durante un largo periodo.

---

## II. Historia de la primera bomba

EL PRIMER artefacto nuclear utilizado contra una población humana hizo explosión sobre la ciudad japonesa de Hiroshima el 6 de agosto de 1945. Era una de las tres bombas fabricadas por los Estados Unidos mediante un proyecto científico-militar que durante tres años agrupó a gran parte de los físicos más brillantes de la época. ¿Por qué tantos científicos, incluida una decena de Premios Nobel, brindaron su apoyo a una iniciativa bélica? La respuesta requiere conocer las circunstancias vividas por estos hombres y mujeres de ciencia durante los años anteriores al proyecto.

La llegada del siglo XX había marcado el comienzo de una revolución inesperada para las ciencias físicas. Los primeros indicios de que algo nuevo ocurría eran ciertas observaciones casuales de fenómenos sin explicación aparente. En 1895, el alemán Wilhelm C. Roentgen, en la Universidad de Wurzburg, había notado que sus tubos de descarga eléctrica emitían rayos invisibles capaces de

atravesar la mano de su esposa y dejar la imagen de sus huesos en una placa fotográfica. Como no sabía de qué se trataba, el mismo Roentgen los llamó rayos X. Durante los años siguientes, Henri Becquerel junto con Pierre y Marie Curie, en París, descubrían diferentes tipos de rayos invisibles que eran emitidos espontáneamente por las sales de uranio y otros elementos. A pesar de que no era posible comprender la naturaleza de estos fenómenos a partir de las leyes de la física conocidas hasta entonces, fue tal el interés científico despertado por estos descubrimientos que sus autores merecieron prontamente el Premio Nobel: Roentgen en 1901, y Becquerel junto con el matrimonio Curie en 1903.

Y los descubrimientos continuaban. El inglés J. J. Thompson en 1900 demostró que los átomos, considerados hasta entonces como los bloques fundamentales de toda la materia, estaban compuestos por partículas más elementales aún, los electrones. Primero en Canadá y luego en Inglaterra, el neozelandés Ernest Rutherford realizó una serie de experimentos con los cuales primero logró identificar las radiaciones de Becquerel y los Curie, y luego, utilizándolas para bombardear elementos conocidos, demostró que los átomos tenían en su centro un núcleo masivo. Estas evidencias experimentales sirvieron al danés Niels Bohr para proponer en 1913 el modelo planetario del átomo conocido hoy en día, según el cual los electrones giran en órbitas circulares alrededor del núcleo, de modo parecido al giro de los planetas alrededor del Sol.

A pesar de contener ideas radicalmente opuestas a las de la física aceptada hasta entonces, el "átomo de Bohr" ganó popularidad rápidamente al conocerse nuevos resultados experimentales que lo apoyaban. El modelo de Niels Bohr exigía que ciertas propiedades de los electrones, como su energía o el tamaño de la órbita, estuviesen cuantizadas. Esta noción de discontinuidad era fundamentalmente diferente de los conceptos clásicos. En opinión

del matemático H. Poincaré, la nueva física no-continua (cuántica) sería "la revolución mayor y más radical ocurrida en la filosofía natural desde los tiempos de Newton".

En 1905, el físico Albert Einstein había propuesto una teoría de la medición del tiempo y del espacio conocida como relatividad especial que, entre otros resultados, predecía algunos fenómenos peculiares: la masa de los cuerpos aumentaría a medida que éstos se movieran a mayor velocidad, la velocidad de la luz sería la máxima velocidad alcanzable, masa y energía serían equivalentes pudiéndose transformar una en otra. Recién propuesta la teoría, fue simplemente pasada por alto, hasta que alrededor de 1908 comenzó a ser tomada en serio y ya en 1912 Einstein fue propuesto por primera vez como candidato al Premio Nobel. Finalmente, obtuvo este galardón en 1921, pero no por su famosa teoría sino por la explicación del efecto fotoeléctrico.

Estas ideas y nuevas teorías constituían una visión revolucionaria de las ciencias físicas. A Europa acudían físicos de todas partes del mundo a pasar uno o dos años con Niels Bohr en Copenhague, con Rutherford y su grupo en Cambridge, o con Max Born en Gotinga. Eran tiempos llenos de entusiasmo, discusión, polémica, y nuevas ideas. Los laboratorios y universidades europeos recibían una corriente continua de visitantes dispuestos a presentar sus teorías a la consideración del resto de la comunidad científica. Uno de ellos se lamentaba de que era necesario "aprender nuevos métodos teóricos casi cada semana".

Pero estos años de felicidad para aquellos que vivían en el ambiente intelectual y académico europeo pronto llegaron a su fin. A partir de 1932, estudiantes judíos que desde Polonia o Hungría habían llegado a Alemania a estudiar, comenzaron a sentir el odio racial de parte de sus compañeros partidarios de la doctrina nacional-socialista. Entre quienes nunca olvidarían lo que significó la irrupción política en la paz académica de las universida-

des y laboratorios de Gotinga, Hamburgo y Berlín se contaban los jóvenes físicos Eugene Wigner, Leo Szilard y Edward Teller. Los Premios Nobel J. Stark y P. Lenard declararon que la teoría de la relatividad de Einstein era charlatanería judía y cualquier trabajo que utilizara las ideas de Einstein o de Bohr era peyorativamente calificado como "física judía". En la primavera de 1933, el idílico ambiente académico de Gotinga se transformó en un campo de batalla política como consecuencia de la imposición del "nuevo orden", un mes después del ascenso de Hitler al poder. Desde Berlín llegó la orden de despido para siete profesores de la Facultad de Ciencias, entre los que se contaba el prestigioso físico teórico Max Born. Grupos fanáticos quemaban libros con las ideas de Thomas Mann, Bertolt Brecht, Sigmund Freud y Albert Einstein. Niels Bohr recibía en su Instituto en Copenhague a algunos de los físicos forzados a abandonar Alemania y lo mismo ofrecían las instituciones universitarias inglesas.

Pero los refugiados eran muchos y solamente los Estados Unidos contaban con suficientes posiciones académicas para todos. Hasta 1936, fueron más de 1 600 los intelectuales —un tercio de ellos científicos— expulsados de sus trabajos en los países ocupados por Hitler. Einstein se fue de Berlín al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, en 1933, e incluso Niels Bohr debió abandonar su Instituto diez años más tarde y dirigirse, primero a Inglaterra y luego a los Estados Unidos.

En los Estados Unidos existía un gran apoyo institucional y del público en general a las ciencias físicas. Los físicos estadounidenses más brillantes, y que habían tenido la oportunidad de pasar una temporada en Europa, regresaban convencidos de que sólo lograrían progresar en el conocimiento del átomo si el trabajo experimental y el análisis teórico profundo se realizaban al unísono. Las universidades se interesaban en los nuevos descubrimientos y comenzaban a ofrecer puestos académicos y fondos para la investigación en física. Los avances tecnológicos

conseguidos por físicos en empresas privadas norteamericanas durante la primera Guerra Mundial habían logrado que la opinión pública reconociera y apreciara los avances técnicos producidos por la ciencia aplicada.

Durante un eclipse solar en 1919 se confirmaron algunas de las predicciones hechas por Albert Einstein y éste se transformó en figura pública de nivel mundial. Los periódicos estadounidenses de la época "discutían" la teoría de la relatividad y a una conferencia sobre este tema, ofrecida durante una visita a los Estados Unidos en 1921, asistieron miles de neoyorquinos. El presidente Harding lo recibió en la Casa Blanca y le confesó no comprender sus teorías, pero sí todo lo que su persona significaba para los votantes judíos... El público se interesaba por la ciencia, y en particular por lo que ocurría en los laboratorios de física nuclear. El físico norteamericano Arthur Holly Compton reunió 2 000 asistentes en el City College de Nueva York para una conferencia científica, y en 1934 Einstein daba charlas en Pittsburgh cobrando 50 dólares por la entrada.

Ernest Lawrence, constructor del primer ciclotrón en Berkeley, California, era la personificación de la física nuclear en los Estados Unidos. Anunciaba públicamente sus planes para construir grandes aceleradores, aparecía en la portada del *Time*, y su experimento en que se transformó platino en oro por medio de una reacción nuclear fue noticia de primera página. En 1938, la madre de Lawrence, víctima de un cáncer pélvico inoperable, fue sometida a un tratamiento de radioterapia (irradiación controlada) con equipo creado por el grupo de Lawrence en Berkeley, y logró ser curada. Este hecho, considerado como milagro de la ciencia en esos días, ayudó a afianzar la imagen pública de que la física nuclear era útil, y en general que la investigación en ciencia básica podía resultar beneficiosa para la sociedad. La opinión pública norteamericana de los años 30 agradecía a la ciencia los avances tecnológicos que gozaba en su vida diaria.

Éstas eran las condiciones que los Estados Unidos ofrecieron a los físicos expulsados de las universidades europeas. Los intelectuales judíos, incluidos en los primeros exiliados de la Alemania nazi, encontraban trabajo estable en el mundo académico estadounidense. En 1941, más de 100 físicos extranjeros, entre ellos ocho Premios Nobel, habían conseguido una posición en universidades norteamericanas. La mayoría eran alemanes de ascendencia judía, o cónyuges de una mujer judía. Los refugiados se adaptaban al estilo de vida estadounidense, contaban con un número abundante de alumnos, acceso a laboratorios, respeto público, y fondos para realizar su investigación.

Durante los años de cambios políticos en Europa continuaba la serie de descubrimientos relacionados con las propiedades del núcleo atómico. Enrico Fermi, en Roma, era el líder del trabajo experimental. Su trabajo consistía en el estudio sistemático de los núcleos y lo realizaba bombardeándolos con neutrones, una partícula recién descubierta en 1932. Entre los elementos estudiados estaba el uranio, que parecía romperse en trozos más pequeños al recibir el choque de un neutrón. Nunca antes se había observado tal fisión y Fermi se negó a creerlo. En 1935, los franceses Frédéric Joliot e Irene Curie anunciaron públicamente la posibilidad de que estas fisiones nucleares liberaran una cantidad enorme de energía. Leo Szilard, quien había huido de Alemania y estaba en Inglaterra, fue de los pocos que pensó seriamente en esta posibilidad y se dio cuenta de que si se encontraba un elemento que al fisionarse emitiese al menos dos neutrones extras, sería posible establecer una reacción en cadena que liberaría energía de modo violento y en cantidades mucho mayores que las obtenidas con explosivos químicos. En 1938, los físicos alemanes Hahn y Strassmann, en Alemania, demostraron que al bombardear uranio con neutrones se producían núcleos más pequeños. Su ex colaboradora Lise Meitner, refugiada en Suecia a causa de su origen

judío, junto con su sobrino Otto Frish, un alumno de Niels Bohr, comprendieron que lo observado correspondía a la fisión del núcleo de uranio. Publicaron sus resultados en febrero de 1939.

Leo Szilard, recién llegado a los Estados Unidos, diseñó su propio experimento y creyó confirmar que del uranio se emitían neutrones extras. Teniendo este resultado, se preocupó seriamente por la posibilidad de que su descubrimiento fuera conocido también por los físicos alemanes y que Hitler ya hubiese puesto en marcha un plan para producir una bomba. Incluso en la prensa norteamericana se especulaba respecto a tal posibilidad. Szilard intentó proponer al resto de los físicos nucleares la autocensura respecto de los nuevos resultados, pero no contó con gran apoyo. En marzo de 1939, aun después de haber recibido una petición de Szilard en el sentido opuesto, Joliot publicó un artículo anunciando el logro de una reacción en cadena: quería que el triunfo fuese reconocido como francés.

Leo Szilard solamente encontró eco a su creciente preocupación en sus colegas E. Wigner, E. Teller y V. Weisskopf, y juntos decidieron informar al gobierno norteamericano sobre la situación. Dada la popularidad de Albert Einstein, le solicitaron que fuese él quien firmara una carta al presidente F. D. Roosevelt. Esta carta, con fecha 2 de agosto de 1939, informaba de los descubrimientos de Fermi y Szilard, mencionaba la posibilidad de que la construcción de bombas altamente poderosas ya se hubiese iniciado en Alemania (el hijo del subsecretario de Estado alemán, Von Weizacker, trabajaba en el Instituto Kaiser Wilhelm en Berlín, donde se realizaba investigación con uranio), y solicitaba fondos especiales para acelerar la investigación de estos asuntos en los laboratorios universitarios norteamericanos. Dos meses después, un comité especial nombrado por Roosevelt recibió a Szilard, Wigner y Teller, y accedió a destinar 6 000 dólares a las investigaciones, cantidad que se extrajo del presupes-



to del ejército y la armada. Pasaron dos años antes de que un proyecto organizado llegase a existir.

En Alemania, mientras tanto, el gobierno había organizado en dos ocasiones reuniones de físicos nucleares para discutir el posible uso de la energía nuclear. Entre las primeras medidas tomadas estaba la prohibición de exportar el uranio de las minas checoslovacas, país entonces ocupado por Hitler. El "Proyecto Uranio" alemán, destinado a controlar el desarrollo de la investigación nuclear, se centró en el Instituto de Física Kaiser Wilhelm en Berlín, bajo la dirección de W. Heisenberg. Según declaraciones posteriores de éste, su aceptación del cargo se debió a su interés por impedir que un arma nuclear cayera en las manos de un dictador que parecía estar dispuesto a todo. La misión principal de los científicos más involucrados fue desviar la atención del gobierno de la posibilidad de construir una bomba y, en cambio, orientar el trabajo hacia la utilización de la energía nuclear en procesos industriales. Noticias de las acciones del Proyecto se filtraban a los Estados Unidos y fueron malinterpretadas como indicios de un proyecto bélico alemán. El grupo de Heisenberg trató de comunicar a sus colegas ingleses y norteamericanos la realidad, pero debido a desconfianza mutua el mensaje no fue recibido.

En 1942, el primer ministro británico W. Churchill y el presidente norteamericano F. D. Roosevelt acordaron concentrar en el territorio estadounidense los equipos científicos de ambos países que ya trabajaban en la bomba. La dirección general del llamado Proyecto Manhattan recayó en el Comité Militar Político, compuesto por tres militares, los generales Styer, Groves, y el almirante Purnell, y por dos civiles, V. Bush y J. B. Conant. Vannevar Bush, ingeniero electricista, había sido vicepresidente del Massachusetts Institute of Technology, y James B. Conant, químico orgánico, había sido presidente de la Universidad de Harvard. Cerca de 150 000 personas llegaron a participar en el Proyecto, la mayoría de ellas sin saber

cuál era su objetivo. No más de una docena de individuos tenía una visión global de la empresa. Los científicos que accedieron a entregarse totalmente a la construcción de un arma nuclear lo hicieron convencidos de la necesidad de contar con tal recurso si es que Hitler también lo obtenía. Muchos opinaban que, una vez logrado un equilibrio entre ambos bandos en guerra, se debería renunciar al uso del artefacto. La existencia de una bomba alemana era una idea siempre presente en sus mentes, hasta el punto de referirse a ella como si fuese una realidad.

Desde su creación en 1942, el Proyecto Manhattan fue dirigido por el general Leslie Richard Groves. Se construyeron tres ciudades para realizar los diferentes trabajos: Oak Ridge en el estado de Tennessee, donde se trabajaba en la separación del uranio para obtener el isótopo fisionable 235; Hanford en el estado de Washington, donde se producía otro isótopo fisionable, el plutonio 239, y Los Alamos en Nuevo México, donde se diseñaban y fabricarían las primeras tres bombas. Muy importante para estos proyectos fue la labor dirigida por Fermi en el Laboratorio Metalúrgico de la Universidad de Chicago, que culminó con la puesta en marcha en diciembre de 1942 del primer reactor nuclear. Inmediatamente después de este logro, el gobierno norteamericano destinó 400 millones de dólares al Proyecto Manhattan. Los costos totales se estiman en unos 3 000 millones de dólares.

El laboratorio de Los Álamos fue construido sobre una colina a 56 km de Santa Fe, la ciudad más cercana. Jefe del laboratorio fue nombrado el físico norteamericano Robert Oppenheimer, quien condujo la empresa de modo admirable, tanto por su capacidad de organización como por su encanto personal. Gracias a esta cualidad, fue capaz de convencer a cientos de físicos nucleares de que formaran parte del Proyecto, como también logró limar las asperezas que surgían continuamente entre los investigadores y el personal militar que supervisaba el laboratorio. La vida de los investigadores en Los Álamos carecía

por completo de comodidades y confort y estaba siempre vigilada hasta en sus mínimos detalles. Toda correspondencia y conversación telefónica con el exterior estaba censurada y ni siquiera los parientes más cercanos podían enterarse de qué se trataba el Proyecto. Los científicos más importantes tenían asignado un vigilante personal que los seguía a todas partes.

En el otoño de 1943 se formó un servicio de información especial, con la asesoría científica del físico holandés Samuel Goudsmith, que debía llegar a Europa junto con las primeras tropas aliadas e informarse del estado de la investigación nuclear alemana. Al capitular la ciudad de Estrasburgo el 15 de noviembre de 1944 ante las tropas norteamericanas, Goudsmith se dirigió al Instituto de Física de la Universidad que había dirigido Cari F. von Weiszacker, el físico alemán mencionado por Einstein en su carta a Roosevelt. Von Weiszacker había huido y los físicos que fueron detenidos se negaron a dar ninguna información. Goudsmith encontró entre los documentos del Director elementos suficientes como para convencerse de que el temido plan bélico nuclear alemán no existía. Alemania no contaba con fábricas para separar el uranio ni para producir plutonio, ni siquiera un reactor como el de Fermi en operación. El atraso respecto del desarrollo nuclear en los Estados Unidos era de unos dos años, lo que significaba que Alemania no podría construir la bomba antes del fin de la guerra.

Los informes de Goudsmith se filtraron rápidamente a la comunidad científica que trabajaba en el Proyecto Manhattan y, como era de esperarse, causaron gran preocupación entre los investigadores. La motivación principal para su trabajo había desaparecido. Ya nada justificaba continuar fabricando la bomba. Estados Unidos continuaba en guerra contra el Japón, pero este país jamás podría haber fabricado un arma nuclear. Estos asuntos se discutían acaloradamente tanto en Los Alamos como en el Laboratorio Metalúrgico en Chicago. Comenzó en-

tonces la movilización de científicos en contra del uso de la bomba. Niels Bohr ya se había preocupado por las consecuencias que tendría una decisión unilateral norteamericana sobre el empleo de armas nucleares, y a comienzos de 1944 había enviado un memorándum a Roosevelt y Churchill buscando un acuerdo entre los Estados Unidos, la Gran Bretaña y la Unión Soviética para controlar un posible aprovechamiento de la energía nuclear. En su escrito, Bohr manifestaba su confianza de que "la considerable colaboración entre los científicos de todo el mundo constituiría una ayuda" y que "la relación personal entre los científicos de todas las naciones brindaría excelente oportunidad para inaugurar un contacto provisional y extraoficial". Bohr entregó personalmente el documento a ambos gobernantes, y ninguno de ellos tomó en serio sus sugerencias.

Leo Szilard se dirigió de nuevo a Einstein pidiéndole que firmara una nueva carta dirigida a Roosevelt, para exponerle el cambio en la situación política mundial y previniéndole contra el posible inicio de una carrera armamentista. Roosevelt murió de repente el 12 de abril de 1945 y no llegó a leer la misiva. El nuevo presidente, Harry S. Truman, nunca recibió personalmente a Szilard y así permaneció sin conocer detalles del proyecto del cual no sabía demasiado. En cambio, lo envió con J. Byrnes, quien sería dentro de poco el nuevo ministro de Relaciones Exteriores. Este hombre demostró en la entrevista bastante ignorancia sobre asuntos internacionales, y opinó que sería inútil y contrario a la soberanía nacional el renunciar a un proyecto de millones de dólares en que habían tenido participación más de 150 000 personas.

El ministro de Guerra de Roosevelt, Henry L. Stimson, exigió a Truman que reuniera a algunos expertos del Proyecto Manhattan para recibir información y consejo sobre la utilización de los artefactos nucleares. Los científicos opuestos al Proyecto recibieron con gran optimismo

la noticia de la reunión, hasta que se enteraron de la composición del grupo. La comisión estaba constituida por cinco políticos —incluido J. Byrnes— y por tres científicos que desde 1940 se habían relacionado íntimamente con la investigación dirigida a fines militares. Ellos eran V. Bush, J. B. Conant y Karl T. Compton. Esta comisión tenía anexo un grupo de científicos, el Comité Interino, formado por R. Oppenheimer, E. Fermi, Arthur H. Compton y Ernest Lawrence. Todos los científicos mencionados, excepto Enrico Fermi, eran considerados por el resto de la comunidad como leales a los intereses militares.

El 31 de mayo y el 1 de junio fueron convocados la comisión y el comité para que consideraran "la energía atómica" de manera global en la futura relación del ser humano con su ambiente, y no solamente desde el punto de vista militar. Las sesiones de deliberación del comité contaron con la presencia del general Groves, y su defensa del empleo de la bomba fue fundamental a la hora de redactar las recomendaciones que la comisión hizo al Presidente. Éstas incluían tres puntos principales: la bomba debía ser utilizada lo antes posible contra el Japón; debía emplearse contra un objetivo que fuese tanto un centro militar como de vivienda, y no debía advertirse a nadie sobre la naturaleza del arma.

La formación de estas comisiones había suscitado reuniones de discusión en los laboratorios del Proyecto. Un grupo de siete científicos opuestos al uso de la bomba contra Japón, tres físicos, tres químicos y un biólogo de la Universidad de Chicago, entre los que se contaba Szilard, decidieron enviar un memorándum al Ministerio de Guerra con sus opiniones respecto de las consecuencias políticas y sociales de la energía atómica. El grupo era encabezado por el Premio Nobel J. Franck y el documento, conocido como el Informe Franck, fue enviado el 11 de junio de 1945. Citamos algunos de sus párrafos más sobresalientes:

Nosotros, un pequeño grupo de ciudadanos del Estado, hemos descubierto durante los últimos años, por la fuerza de las circunstancias, un grave peligro para la seguridad de nuestro país y para el futuro de todas las naciones, un peligro del cual nada sospecha todavía el resto de la humanidad.

El desarrollo de la energía nuclear no significa tan sólo un aumento de la fuerza tecnológica y militar de los Estados Unidos, sino que crea también graves problemas políticos y económicos para el porvenir de nuestro país.

Si no se crea un control internacional eficaz sobre los explosivos nucleares es seguro que, una vez que hayamos descubierto por primera vez para el mundo entero nuestra posesión de armas nucleares, las demás naciones empezarán una carrera para la obtención del armamento nuclear.

Creemos que estas reflexiones no hablan en favor de que las bombas nucleares se empleen en un ataque pronto e inesperado contra el Japón. Si los Estados Unidos fueran el primer país que empleara este nuevo medio de destrucción terrible de la humanidad, renunciaría con ello al apoyo del mundo entero, aceleraría la carrera de armamentos y echaría por el suelo las oportunidades para un futuro pacto internacional con el fin de controlar estas mismas armas.

Si el gobierno se decidiera por una demostración próxima de las armas nucleares, tendría la posibilidad de conocer la opinión pública de nuestro país y de otras naciones y de tenerlas en cuenta antes de decidirse a lanzar estas armas sobre el Japón. De esta manera podrían las otras naciones compartir en parte la responsabilidad de una resolución tan decisiva.

El prestigio de los científicos que suscribían el Informe Franck y la fuerza de sus argumentos hicieron que el Ministro de Guerra sometiera el informe recién recibido a la consideración del Comité Interino, el que 15 días antes había emitido sus propias recomendaciones. La reu-

nión tuvo lugar en Los Álamos el 16 de junio y según lo que Oppenheimer cuenta:

Fuimos invitados a dar nuestra opinión sobre si la bomba debía ser empleada o no. Creo que la razón por la cual nos pidieron esta opinión fue que un grupo muy famoso y serio de científicos había presentado una demanda para que no fuera empleada. Y efectivamente, desde cualquier punto de vista, mejor era no hacerlo.[... ] Dijimos que en nuestra calidad de científicos no nos considerábamos capaces de responder a la pregunta de si debían o no ser empleadas las bombas; que nuestra opinión estaba dividida tal como lo había estado la de muchos otros previamente informados. [...] También dijimos que creíamos que la explosión de una de las bombas en un desierto, a modo de advertencia, no tenía probabilidades de impresionar demasiado.

La división entre las opiniones de los miembros del comité a que se refiere Oppenheimer es la resistencia que opuso Lawrence al empleo del arma contra Japón. Hay que agregar un hecho más, que probablemente influyó en la decisión final del presidente Truman. El Informe Franck había sido llevado personalmente por éste a Washington, donde se encontraba A. H. Compton, miembro del Comité Interino. El mismo Compton relata que leyó el informe y trató de arreglar una entrevista entre Franck y el ex ministro Stimson, cabeza de la comisión asesora, pero que éste no se encontraba en la ciudad. Entonces, fue Compton quien le transmitió el Informe Franck al ex secretario junto con una nota suya en la que expresaba su propia opinión respecto al informe, en el sentido que "si bien demostraba las dificultades que podría provocar el uso de la bomba, no mencionaba, en cambio, la probable salvación de muchas vidas, ni tampoco que si la bomba dejaba de utilizarse en esa guerra el mundo no tendría la advertencia adecuada de lo que podría ocurrir si estallaba otra". Y así, la petición del grupo de Franck fue rechazada y el plan de bombardear a Japón siguió adelante.

El 16 de julio de 1945 se hizo estallar, en un terreno de pruebas cerca del pueblito de Alamogordo, en Nuevo México, la primera de las tres bombas nucleares existentes entonces. Al ensayo asistieron la mayoría de los investigadores de Los Álamos que durante dos o tres años habían colaborado en el proyecto. La reacción de cada uno de ellos ante lo que observaron fue una mezcla de sentimientos encontrados: entusiasmo y orgullo por haber sido parte de la empresa, pero al mismo tiempo sorpresa y estupor por la magnitud del efecto logrado.

De inmediato, después del ensayo de Alamogordo que trascendió al público como la explosión accidental de un arsenal cerca de Santa Fe, grupos de científicos pertenecientes al Proyecto Manhattan comenzaron a recolectar firmas para solicitar al Presidente que se abstuviera del uso de la bomba contra Japón. Este país se defendía obstinadamente de la superioridad militar estadounidense, y en círculos diplomáticos de los Estados Unidos se tenían indicios de que estaría dispuesto a capitular de modo honroso. La petición de los investigadores a la Casa Blanca proponía que, además de brindarle al Japón la oportunidad de capitular, se tomaran a la brevedad medidas de control internacional sobre este nuevo tipo de armas. La circulación del documento fue prohibida por las autoridades militares y Szilard lo envió a Truman con sólo 67 firmas de científicos. La suerte que corrió la petición fue similar a la de documentos anteriores: terminó en las manos del Comité Interino que se mantuvo fiel a sus recomendaciones anteriores. El argumento de mayor peso en favor del uso de la bomba fue la salvación de muchas vidas humanas, que se lograría de inmediato con el fin de la guerra.

Irónicamente, esto se consiguió a costa de la muerte de cientos de miles de japoneses, los habitantes de Hiroshima y Nagasaki. (Las cifras de víctimas en estas ciudades varían según la fuente informativa: entre 100 000 y 210 000 muertes inmediatas más unos 100 000 o 150 000 heridos



graves, muchos de los cuales probablemente no sobrevivieron.)

El 6 de agosto, un avión bombardero B 29 norteamericano dejó caer sobre el centro de la ciudad de Hiroshima la primera bomba de uranio y tres días después, sobre Nagasaki, el último de los tres artefactos construidos por el Proyecto. El anuncio presidencial posterior al bombardeo de Hiroshima decía: "La bomba tuvo más poder que 20 000 toneladas de dinamita... Es el control de los poderes básicos del universo." En palabras del papa Pablo VI, 20 años después, fue "una carnicería de indecible magnitud". El 15 de agosto se conoció la noticia de la rendición incondicional del Japón.

Para un grupo numeroso de investigadores del Proyecto, la destrucción, dolor y muerte ocurridos en las ciudades japonesas fueron la evidencia dolorosa de un hecho hasta entonces desconocido: después de Hiroshima y Nagasaki el científico ya no podría desconocer su responsabilidad en el uso que la humanidad haga de sus descubrimientos. Muchos de los participantes en el Proyecto se retiraron de él terminada la guerra, y regresaron a las universidades a continuar con sus proyectos de investigación básica. Otros prosiguieron desarrollando conocimientos y técnicas dirigidas a la guerra, en parte atraídos por los millonarios presupuestos militares, que no se limitan a los laboratorios directamente dependientes de la Defensa, sino que también inundan las universidades y laboratorios privados. Tanto unos como otros estuvieron de acuerdo en la necesidad urgente de un sistema internacional de control de la energía nuclear que incluyera de modo particular a la Unión Soviética. Resultados positivos en esta línea sólo se lograron algunos años más tarde, una vez que la Unión Soviética contó con sus propias armas nucleares.

---

### III. Historia de las 45 000 bombas siguientes

#### LA "EDAD ANTIGUA"

INMEDIATAMENTE después de la explosión de las bombas sobre Hiroshima y Nagasaki y de la rendición del Japón, los Estados Unidos comenzaron a aplicar en sus relaciones exteriores la llamada "diplomacia atómica", basada en el monopolio y superioridad militar que les confería el poseer este nuevo tipo de arma. Se tenía la certeza de que la Unión Soviética tardaría entre cinco y veinte años en fabricar su primer artefacto nuclear (una excepción era el propio Truman, quien estaba convencido que jamás lo lograrían); mientras tanto, se hizo uso —no con mucho éxito— del poder de la amenaza nuclear.

En enero de 1946, pocos meses después de las tres primeras explosiones nucleares, la Asamblea General de las Naciones Unidas creó la Comisión de Energía Atómica de la ONU, uno de cuyos objetivos era eliminar todo artefacto de destrucción masiva, incluida la bomba atómica. La posición norteamericana había sido originalmente definida en gran parte por Oppenheimer. Además de proponer medidas de control severo en todas las etapas de cualquier proceso técnico relacionado con energía nuclear, recomendaba que se declarara ilegal para cualquier nación permitir este tipo de trabajo con fines bélicos. El control de toda actividad nuclear debería pasar gradualmente de manos nacionales a una autoridad internacional. También se proponía la final eliminación de todas las armas nucleares, ya que nada menos que esto sería suficiente. Desgraciadamente, la propuesta oficial ante la Comisión de Energía Atómica de la ONU fue hecha por Bernard Baruch, un hombre de negocios escogido por el

canciller Byrnes como el representante de los Estados Unidos, quien modificó a su gusto el plan original. La Unión Soviética rechazó la propuesta oficial argumentando, entre otros motivos, que los Estados Unidos, entonces los únicos poseedores de la bomba, se aseguraban el monopolio durante un largo periodo. Por su parte, la URSS presentó como contrapropuesta la prohibición absoluta de las armas nucleares y la destrucción de todo el armamento existente. Los Estados Unidos rechazaron esta proposición.

En julio de 1946, los Estados Unidos ya habían fabricado nuevas bombas y comenzaron los ensayos nucleares en el protectorado norteamericano de las islas Marshall, en el Océano Pacífico, con el fin de investigar los efectos de las explosiones sobre la superficie y bajo el agua. Se habían realizado dos pruebas ese año y tres el año siguiente cuando la noticia de la primera bomba soviética detonada en agosto de 1949 sorprendió al mundo occidental.

Al conocerse la noticia dentro de los Estados Unidos, comenzó un acalorado debate público respecto de la conveniencia de desarrollar un nuevo tipo de arma nuclear, la bomba de hidrógeno (bomba H) llamada la "súper" por su altísimo poder explosivo. Muchos de los científicos nucleares que habían participado en el Proyecto Manhattan se opusieron a la idea argumentando que la utilización contra civiles inocentes de un arma mil veces más poderosa que las de Hiroshima y Nagasaki no podía justificarse desde un punto de vista moral. Argumentaban también que la fabricación del nuevo tipo de bomba representaría un paso más en la carrera armamentista recientemente iniciada. En julio de 1946, el Congreso norteamericano había aprobado la creación de una Comisión de Energía Atómica (AEC), formada por miembros civiles y militares nombrados por el presidente y responsables ante él. La AEC tendría el control de la producción, propiedad y uso de materiales fisionables y contaría con los medios para impulsar efectivamente la investigación nu-

clear pura y aplicada en áreas sociales y militares. Cuando en junio de 1949 el presidente Truman se enfrentó al dilema de la bomba H, solicitó al Comité Asesor General de la AEC, encabezado por Oppenheimer, su opinión. La respuesta del comité fue de rechazo unánime. Los motivos que los llevaban a esta decisión eran tanto de orden técnico —la construcción de una bomba de hidrógeno se consideraba difícil y el esfuerzo necesario desviaría la atención de la producción de nuevas bombas de fisión— como morales. Algunos miembros del comité, incluido Oppenheimer, anexaron al informe sus opiniones personales considerando la bomba H un arma de genocidio. Los Premios Nobel E. Fermi e I. Rabi solicitaron al Presidente que declarara públicamente frente al pueblo norteamericano y el mundo que iniciar el desarrollo de tal arma sería "contrario a principios éticos básicos".

Por otro lado, un grupo de científicos encabezados por Edward Teller, se dirigió a grupos militares y de la AEC con argumentos en favor de la bomba H como la respuesta adecuada a la bomba soviética. Truman nombró un comité especial para estudiar el asunto y dos de sus tres miembros, los ministros de Estado y de Defensa, se manifestaron a favor; sólo se opuso el jefe de la AEC. Truman se decidió de inmediato: la Comisión de Energía Atómica continuaría el desarrollo de todo tipo de armas nucleares, incluida la de hidrógeno. El 31 de octubre de 1952 ocurrió la primera detonación de un artefacto de fusión, en las islas Marshall, con un rendimiento de 10 megatones produciendo un cráter de casi 2 km de diámetro y 60 metros de profundidad y un hongo visible a 160 km de distancia. Tan sólo 10 meses más tarde la URSS hizo explotar su primer dispositivo termonuclear que utilizaba como material fusionable deuteruro de litio, compuesto mucho más fácil de usar que la mezcla de deuterio y tritio empleada por los estadounidenses. Con este hecho quedó demostrada la capacidad científica y tecnológica de la Unión Soviética para competir en igualdad de con-

diciones con los Estados Unidos en la carrera armamentista nuclear.

Durante 1954 ocurrieron cinco ensayos norteamericanos con "superbombas", uno de ellos de inesperadas consecuencias. Se trató de la primera bomba termonuclear transportable, llamada "Bravo", que fue detonada en el atolón Bikini de las islas Marshall el 1 de marzo. De acuerdo con la información entregada, su rendimiento de 15 Mt resultó ser mayor que el esperado y las condiciones atmosféricas locales causaron la irradiación de zonas habitadas con niveles cercanos a los letales. La figura 6 en el capítulo V muestra la distribución de dosis alrededor del sitio de la prueba. Un bote japonés resultó cubierto con cenizas radiactivas que fueron accidentalmente ingeridas por los pescadores. Un par de muertes y quemaduras cutáneas severas en el resto de la tripulación produjeron una reacción violenta en Japón y el resto del mundo. Los ensayos soviéticos de superbombas culminaron con una de 60 megatones en 1962.

Otros países lograron desarrollar y detonar sus propias bombas nucleares a partir de los años 50. La Gran Bretaña hizo explotar en Australia una bomba de fisión en 1952 y una de hidrógeno en 1957. Francia realizó su primera explosión en el Sahara en 1960 y posteriormente continuó con sus ensayos en el Océano Pacífico, frente a las costas sudamericanas, incluyendo la primera superbomba en 1968. China detonó una bomba de uranio en su territorio en 1964 y una de hidrógeno en 1967. India explotó en 1974 un artefacto de plutonio y, según las declaraciones oficiales, posteriormente se abandonó todo proyecto bélico nuclear. El "club nuclear" de los países poseedores de artefactos nucleares, además de los seis miembros ya mencionados, actualmente debería incluir también a países que no han detonado sus artefactos pero que ya los poseen. De Israel se sabe que cuenta con un arsenal de entre 60 y 200 bombas. De los otros candidatos, Pakistán y Sudáfrica, es posible que ya los posean.

La tecnología de la guerra avanzó rápidamente después de los primeros ensayos. Las bombas nucleares lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki habían sido transportadas por aviones bombarderos cuyos pilotos las dejaron caer sobre las ciudades. Las primeras bombas de hidrógeno eran tan grandes que un avión no habría podido cargarlas. Dentro de los 10 años siguientes ya se contaba con ensayos exitosos de los primeros misiles intercontinentales, la reducción del tamaño de las bombas, y por último la incorporación de cargas termonucleares en los misiles. Actualmente, un solo misil no tripulado, dirigido por un radar-computadora en su interior, puede atravesar el océano Atlántico transportando 10 bombas nucleares que al ser liberadas algunos kilómetros antes del blanco seguirán trayectorias diferentes determinadas en ese instante.

Al analizar la estructura actual de arsenal se acostumbra distinguir entre armas nucleares estratégicas y tácticas. Armas estratégicas son aquellas usadas por los Estados Unidos para amenazar el territorio de la Unión Soviética, y por la URSS para amenazar el territorio estadounidense. El transporte de las armas estratégicas es hecho por un misil balístico intercontinental, por un avión tripulado con gran autonomía de vuelo, o por un vehículo no tripulado de tipo crucero. Armas tácticas son aquellas que serían utilizadas en territorio extranjero (Europa central, por ejemplo) o en combates navales. Su alcance es menor que 6 000 kilómetros. Estas armas pueden ser lanzadas por piezas de artillería, por misiles balísticos de corto y mediano alcance, por aviones tripulados o de tipo crucero, o por barcos y submarinos. La diferencia entre armas estratégicas y tácticas se hace cada vez menos clara.

En 1984 se estimaba que el arsenal estratégico de los Estados Unidos constaba de unas 11 600 bombas y el de la Unión Soviética, de unas 8 300. El rendimiento total de estas armas era de unos 4 000 y 7 000 megatones, res-

pcctivamente. Las armas tácticas totalizan unas 15 000 estadounidenses repartidas por el mundo, y unas 7 000 soviéticas distribuidas en su territorio y entre los países del Pacto de Varsovia. El armamento táctico norteamericano desplegado en los países de la OTAN es controlado por los Estados Unidos, excepto en Francia y Gran Bretaña que cuentan con sus propios arsenales estratégicos y tácticos.

Es tal la variedad de armas nucleares existente en cada una de las grandes potencias hoy en día que es difícil referirse a las características de cada una. Nos limitamos a explicar brevemente cuáles son los elementos principales del armamento estratégico y táctico actual.

La estrategia nuclear está basada en tres elementos principales: misiles balísticos intercontinentales lanzados desde tierra o desde submarinos, y armas liberadas desde aviones. Un misil balístico intercontinental es un vehículo no tripulado de largo alcance que puede ser disparado tanto desde una base terrestre (ICBM) como desde un submarino (SLBM). Se estima que un ICBM lanzado desde la Unión Soviética llegaría al territorio continental norteamericano en media hora. La trayectoria de estos misiles es calculada por sistemas de navegación internos y se estima que después de un viaje de 15 000 kilómetros pueden caer dentro de 100 metros del punto deseado. Los ICBM hoy día mantenidos en tierra se guardan adentro de silos contruidos especialmente para resistir impactos de la magnitud que causa la onda de presión de una explosión nuclear. Esto es necesario, pues la ubicación de las bases de ICBM es conocida y en caso de ataque serán uno de los blancos preferidos por el enemigo. Entre los ICBM existentes en el arsenal norteamericano se distinguen los modelos Titán, Minuteman, y MX, totalizando 1 029 según un informe del Congreso en 1984. (Esta cifra cambia a 1 021 en 1987 al retirarse los últimos Titán e incorporarse los MX.) Los ICBM soviéticos se llaman (entre los técnicos norteamericanos) ss-11, ss-13, ss-17, ss-18 y ss-20, totalizando 1 458 vehículos. Un misil balístico puede llevar

una o varias bombas (cabezas) nucleares en su interior para ser liberadas momentos antes de llegar a su destino hacia objetivos diferentes. Estos sistemas equipados con múltiples vehículos de reingreso independiente se llaman MIRV y fueron creados originalmente por los Estados Unidos para aumentar su poderío total sin pasar el límite en el número de ICBM impuesto por los tratados. Un misil Minuteman III, por ejemplo, lleva tres cabezas nucleares independientes de 170 kt cada una, y un ss-18 lleva 10 de 500 kt cada una. Tomando esto en consideración, la cantidad de bombas transportadas por los ICBM totaliza 2 130 para los Estados Unidos (18% del total estadounidense) y 6 012 para la URSS (72% del total soviético).

El gran valor estratégico de las armas basadas en submarinos es su posición desconocida para el enemigo. Los misiles instalados en submarinos se llaman Poseidon o Tridente en los Estados Unidos y SS-N en la URSS. Cada misil lleva varias cabezas nucleares con cargas entre 50 kilotones y 1 megatón por cabeza. Los SLBM tienen alcances entre 1 400 y 9 100 kilómetros y pueden dar en el blanco con un error menor que 450 metros. Esta precisión no es aún suficiente para asegurar que un silo atacado desde un submarino resulte destruido. Se considera a los submarinos como armas de respuesta, capaces de destruir a cualquiera de las dos potencias después de haberse recibido un primer ataque dirigido contra los otros dos elementos estratégicos (ICBM y aviones bombarderos). Un tercio de los submarinos norteamericanos y 15% de los soviéticos están en el mar en cualquier momento. El 50% de las bombas estadounidenses (5 728) y 24% de las soviéticas (1 964) están basadas en submarinos.

El tercer elemento en la triada estratégica lo constituyen las bombas transportadas por aviones bombarderos. Los Estados Unidos poseen 300 aviones B-52 y FB-11 que pueden transportar unas 3 800 bombas de hasta 1 Mt cada una. Estas bombas pueden ser "de gravedad", es decir que simplemente caen sobre el blanco después de ser libe-



radas, o bien "misiles de corto alcance", con instrumentación que les permite definir una trayectoria en dirección al blanco. La Unión Soviética transporta unas 350 bombas de las mismas características anteriores en 150 bombarderos llamados Oso y Bisonte. Esta cantidad representa sólo 4% del total de bombas soviéticas, en contraste con la instalación de 32% de las bombas norteamericanas en aviones.

Dentro del arsenal táctico destacan los misiles balísticos de corto y mediano alcance llamados Pershing II y Crucero, que fueron instalados por los Estados Unidos en Europa desde 1983. Cada uno de los 108 Pershing II ubicados en Alemania lleva tres cabezas nucleares de 10 a 50 kilotones cada una y tiene un alcance de 1 500 kilómetros. La Unión Soviética sostiene que Moscú podría ser alcanzada fácilmente por cualquiera de ellos, pero los norteamericanos lo niegan. Hay 464 misiles Crucero repartidos en Europa. Éstos llevan una bomba cada uno, del mismo rendimiento que los Pershing II. Los jefes militares de la OTAN aceptaron la instalación de este arsenal argumentando que Europa y los Estados Unidos deben presentar un frente común a la Unión Soviética.

---

#### IV. Tratados de control de armas nucleares

EN EL año 1957 la Asamblea General de las Naciones Unidas creó el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), destinado a proveer con material fisionable a aquellos países que desearan emprender proyectos nucleares pacíficos. Esta agencia ha logrado su objetivo de impulsar variados usos no bélicos de la energía nuclear, pero esto no ha resultado un obstáculo para que el arsenal nuclear mundial crezca a un ritmo cada vez mayor.

Muchos físicos nucleares de la generación de Los Álamos asumieron roles de responsabilidad en la política científica estadounidense de los años 50 y 60. Se podría resumir la posición de la mayoría de estos científicos como un abierto compromiso con la seguridad nacional aunado a un apoyo igualmente entusiasta del control armamentista. El presidente Eisenhower creó el puesto de Asesor Presidencial Especial para Ciencia y Tecnología y un Comité Consejero Presidencial para Ciencia y Tecnología. Se opina que el rol de estos consejeros fue clave en la decisión de John Kennedy para firmar el Tratado de Prohibición de Ensayos Atmosféricos (ATBT) en 1963.

Los ensayos nucleares hasta 1962 se realizaban todos en la atmósfera y por consiguiente se depositaba una cantidad inmensa de materiales radiactivos en el aire, sustancias que se distribuían posteriormente a toda la atmósfera terrestre. Hasta esa fecha habían ocurrido alrededor de 500 explosiones nucleares, de las cuales unas 300 correspondían a los Estados Unidos, 180 a la Unión Soviética, 25 a la Gran Bretaña y 4 a Francia. Como consecuencia, la carga radiactiva de la atmósfera alcanzaba niveles peligrosos para la vida en nuestro planeta. Se calcula que ya se habían inyectado 10 toneladas de plutonio a la atmósfera. Éste cae de regreso a la superficie en un par de años y pasa a formar parte del ecosistema terrestre y acuático. (El plutonio es un elemento sumamente tóxico, ya que después de ser ingerido o inhalado se instala permanentemente en el esqueleto, el hígado y los pulmones. Es radiactivo, y la radiación que emite puede causar serios daños, como tumores óseos o pulmonares. Basta ingerir algunas millonésimas de gramo de plutonio para que la salud corra un gran riesgo.) El conocimiento público de estos hechos fue conseguido en gran parte gracias a la campaña informativa organizada por el científico Linus Pauling y que lo hizo merecedor del Premio Nobel de la Paz 1961. Esto, unido al efecto causado por la irradiación accidental de pobladores durante el

ensayo Bravo en las islas Marshall, ayudó a que en 1963 se lograra un acuerdo internacional que prohibió las pruebas nucleares en la atmósfera, el espacio exterior y bajo el agua, permitiendo solamente las explosiones subterráneas que no causan liberación de radiactividad al ambiente. El ATBT fue firmado por más de 100 países, incluidos los Estados Unidos, la URSS y Gran Bretaña. Ni Francia ni China lo suscribieron y continuaron su experimentación al aire libre. Las pruebas francesas cesaron apenas en 1974, después que las protestas de los países del Pacífico Sur, que eran los más directamente afectados por la radiactividad, fueron llevadas ante la Corte Internacional de Justicia de La Haya.

El Tratado de No Proliferación Nuclear, destinado a impedir que nuevos países ingresaran al "club nuclear", se firmó en 1968. Las naciones que firmando el tratado renunciaron al desarrollo de sus propias armas nucleares lo hicieron a cambio de asistencia técnica en tecnología nuclear no bélica. La IAEA se encarga de la inspección que asegura el buen uso de la ayuda. Las naciones del club, por su parte, se comprometen a no traspasar información ni ayuda en asuntos que pudieran llevar a la fabricación de bombas por otros países. Los países que ya pertenecían al club en 1968 no son inspeccionados por el Organismo. Muchas naciones no firmaron este tratado protestando que las potencias nucleares no hacen nada para evitar la proliferación de armas dentro de sus propios territorios. Entre los no firmantes se encuentran Brasil, Argentina, Pakistán, India, Israel y Sudáfrica, todos ellos con la capacidad reconocida de desarrollo de armas nucleares. Es interesante indicar que ya en 1947 la Unión Soviética había propuesto un tratado de no proliferación que incluía a todas las naciones dentro de las medidas de control internacional. Este proyecto, mucho más poderoso que el vigente, no llegó a ninguna parte debido a la poca atención despertada entre los responsables estadounidenses de la época.

En 1972, se firmó un tratado, conocido como el Tratado de los Misiles Antibalísticos (ABM), que fue la culminación de años de conversaciones —llamadas SALT I— entre los Estados Unidos y la Unión Soviética respecto de la limitación de armas estratégicas. El tratado, junto con sus modificaciones posteriores, limita el desarrollo de sistemas antibalísticos para la defensa del territorio y sólo permite la instalación de uno de tales sistemas en cada país. A la fecha de la firma del tratado, la URSS ya contaba con una red de misiles interceptores en las cercanías de Moscú, y hasta el presente continúa modernizándolo dentro de la limitación de un máximo de 100 misiles en el sistema defensivo establecida por el tratado. Los Estados Unidos, en 1969, habían comenzado la construcción del complejo Safeguard, en Grand Forks, Dakota del Norte, equipado con misiles interceptores del tipo Spartan y Sprint. Después de invertir 7 000 millones de dólares, el proyecto fue abandonado en 1976 debido a que no ofrecía la protección esperada. (En 1968 el físico Hans Bethe había declarado en el Massachusetts Institute of Technology que tal sistema de defensa nunca funcionaría, y en 1969 una sesión especial de la reunión de primavera de la Sociedad Norteamericana de Física en Washington, D. C., había concluido con una marcha de físicos hacia la Casa Blanca para solicitar que el proyecto no se aprobara.) Tal como se ve en el capítulo VIII, los acuerdos de este tratado han resultado un obstáculo serio para el plan de defensa estratégica (SDI) actualmente impulsado por el presidente Reagan.

Siendo J. Cárter el presidente, los Estados Unidos llevaron a cabo otra larga serie de conversaciones —SALT II— con la URSS, que culminaron con la firma de un tratado que limitaba de manera detallada la cantidad de cada tipo de arma estratégica nuclear que cada país podía poseer, incluso algunas todavía no construidas. El tratado, por ejemplo, limita los ICBM a 1 400 soviéticos y 1 054 estadounidenses. En cuanto a los misiles con MIRV, se

limita a 10 el número de cabezas nucleares que cada vehículo puede llevar. Desgraciadamente, el tratado no fue nunca ratificado por el Congreso de los Estados Unidos, trámite indispensable para su valor legal. Sin embargo, sus cláusulas han sido cumplidas por ambos países en lo que se refiere a los tipos de armas construidas después de la firma.

Otros dos tratados recientes no han sido ratificados por el Senado estadounidense. Se trata del Tratado de Umbrales, firmado en 1974 por Nixon, que prohíbe ensayos de armas que sobrepasen los 150 kilotones, y el Tratado de Explosiones Nucleares Pacíficas, firmado por Ford en 1976, que permite el uso conjunto de varias bombas detonadas con usos pacíficos, siempre que ninguno de los artefactos sobrepase los 150 kt. A pesar de no haber sido ratificados, ambas potencias se han comprometido a cumplir estos acuerdos, y así ha ocurrido hasta el momento.

Existe además una serie de tratados que prohíben la fabricación de armas nucleares en zonas geográficas específicas del planeta y fuera de él. En 1959, todos los países que pretenden poseer territorios en la Antártida firmaron un tratado que desmilitariza el continente. El tratado permite y reglamenta la inspección de las bases de investigación instaladas en la zona con el fin de comprobar el carácter no bélico de las actividades desarrolladas. El Tratado del Espacio Exterior, de 1967, proscribía la colocación de armas de destrucción masiva en la Luna, cuerpos celestes, y en órbita alrededor de la Tierra. El Tratado de Fondos Marinos, firmado en 1971, prohibió instalar armas nucleares en los lechos marinos, aunque permite su utilización para el libre desplazamiento submarino de sistemas bélicos nucleares.

América Latina es la única región habitada del planeta libre de arsenales nucleares. En 1963, se iniciaron gestiones promovidas por cinco presidentes latinoamericanos para declarar la región zona desnuclearizada. Con el apoyo de la ONU, en 1967 se firmó el Tratado de Tlatelolco,

que prohíbe las armas nucleares en América Latina. El mismo tratado establece medidas de salvaguardia para controlar el cumplimiento de la ordenanza. El creador intelectual del tratado, el mexicano Alfonso García Robles, mereció el Premio Nobel de la Paz en 1982 por este logro. A la fecha, todos los países latinoamericanos, excepto Cuba y Guyana, lo han firmado, aunque tres de los signatarios aún no lo ratifican. Además del tratado, existen dos protocolos adicionales: el primero, se aplica a países que tienen territorios bajo su responsabilidad dentro de la zona geográfica del tratado. A estos países se les aplica la exigencia de desnuclearización de la región contenida en el documento, pero no el sistema de control. Inglaterra, Holanda, Estados Unidos y Francia han suscrito el primer protocolo. El segundo protocolo está dirigido a los países del club nuclear, invitándolos a comprometerse a no contribuir de modo alguno a la nuclearización de la zona. Inglaterra, Estados Unidos, la República Popular de China, Francia y la Unión Soviética han firmado. Los tres países latinoamericanos no ratificantes son Argentina, Brasil y Chile. Las posiciones brasileña y chilena son similares, ya que condicionan la participación de sus países en el Tratado a la participación colectiva de todos los países de la región y a la suscripción de los protocolos por todos los países con posesiones en la zona y por todos los Estados nucleares. Argentina, el país de mayor desarrollo nuclear de la región, al firmar el Tratado en 1967 interpretó uno de sus artículos como autorización para realizar explosiones nucleares no bélicas en la región. México postuló, con el apoyo de los Estados Unidos y la URSS, que tales explosiones quedaban prohibidas. El actual gobierno civil argentino ha prometido estudiar la posible ratificación del documento, hecho que podría ser seguido por igual actitud brasileña y chilena.

Mientras se escribe este libro (fines de 1987), hay indicios de un posible acuerdo entre los Estados Unidos y la Unión Soviética para retirar los misiles de alcance corto e

intermedio del continente europeo. De firmarse tal acuerdo se daría un paso importante hacia el desarme, pues sería la primera acción en estas cuatro décadas de armamentismo nuclear que implique la destrucción de arsenal ya existente e instalado.

Todos los tratados existentes hasta la fecha reglamentan y controlan el número de armas nucleares y ciertas características que deben cumplir las pruebas a que se someten los artefactos. Sin embargo, es evidente que estas medidas internacionales han fracasado rotundamente como impedimentos para el crecimiento continuo de los arsenales nucleares de las dos grandes potencias. La mayoría de los países está de acuerdo en que un paso fundamental para lograr un alto en la carrera armamentista, seguido por último de una disminución en la cantidad total de artefactos bélicos, sería la firma de un acuerdo que prohíba *totalmente* los ensayos nucleares. Al menos en dos ocasiones entre 1961 y 1982, los Estados Unidos y la Unión Soviética se han sentado a la mesa de conversaciones para intentar llegar a un acuerdo sobre prohibición total de ensayos nucleares, pero diversas circunstancias políticas han impedido que esta resolución se logre. Durante el mandato del presidente Cáster se lograron avances significativos hacia la obtención de un acuerdo, sobre todo en lo referente a la verificación del cumplimiento de un posible acuerdo de prohibición. Ambas potencias estuvieron de acuerdo, en principio, en permitir voluntariamente un sistema de inspección de sus instalaciones bélicas. Esto incluiría la instalación de instrumentos sismográficos de uno en el territorio del otro que, al funcionar continuamente, enviarían información indicativa de cualquier violación a los términos de la restricción. Estas negociaciones no llegaron a buen fin, y el 19 de julio de 1982 el presidente Ronald Reagan anunció públicamente el fin de las negociaciones terminando con 20 años de interés oficial en el asunto.

Detrás de las intenciones aparentes de los representan-

tes que llevan las negociaciones se ocultan fuertes presiones, tanto en favor como en contra de lograr un acuerdo de prohibición total de ensayos nucleares. Los más firmes defensores de las pruebas de artefactos nucleares se encuentran en los laboratorios dedicados al diseño y fabricación de las armas. En los Estados Unidos, estos son el Laboratorio Nacional de Los Álamos, en Nuevo México, y el Laboratorio Nacional Livermore, en California. Los ensayos ocurren en el terreno de pruebas de Nevada, al norte de Las Vegas. Según los defensores de los ensayos de artefactos nucleares, éstos son indispensables para asegurar la confiabilidad de las armas nucleares ya existentes, proveer nuevos diseños para armas nucleares que reemplacen las ya anticuadas o ineficientes dentro del arsenal actual, fabricar armas nucleares con mejores características de seguridad, investigar nuevos conceptos tecnológicos en la fabricación de armas, aumentar el conocimiento fundamental en cuanto al funcionamiento de una bomba nuclear, y para mantener la capacidad y habilidad de los científicos e ingenieros dedicados a la industria bélica. Junto con estos argumentos, muchos de ellos discutibles, sobre seguridad nacional, no hay que olvidar que la industria de las armas es una empresa como cualquiera otra, y que una prohibición de ensayos y suspensión de desarrollo y fabricación de nuevos artefactos sería su ruina financiera.

El físico Glenn Seaborg, quien fuera director de la Comisión de Energía Atómica estadounidense durante el gobierno de J. Kennedy, relata en su libro *Kennedy, Krushchev y la prohibición de ensayos* los detalles de las negociaciones que culminaron con la firma del Tratado de Prohibición de Ensayos Atmosféricos en 1963. Seaborg, debido al cargo que ocupaba, tuvo participación activa en los cinco años de deliberaciones previos a la firma del acuerdo. Al reconocer su propio interés —entonces y ahora— por lograr la prohibición total de pruebas, declara que tanto Kennedy como Krushchev estaban con-



vencidos de que tal acuerdo sería una medida importante para la paz del planeta, pero presiones internas en cada país impidieron que los mandatarios pudieran firmar una prohibición absoluta. Seaborg relata una serie de incidentes en que acciones de los laboratorios norteamericanos de armamentos han logrado influir en la posición del mandatario, ya sea con promesas de nuevas armas para el futuro cercano que, por supuesto, requieren de pruebas para su fabricación, o bien con el usado argumento de que los soviéticos "hacen trampa" respecto de los tratados actuales, y por lo tanto burlarían cualquier prohibición total de ensayos. Respecto a las promesas de nuevas armas, en 1957 Edward Teller ofrecía al presidente Einsenhower armas nucleares sin lluvia radiactiva dentro de un plazo de siete años... Es opinión generalizada que éstas no han sido aún inventadas. En cuanto a violaciones soviéticas del Tratado de Umbrales, sismólogos respetables, fuera del medio bélico, declaran no haber detectado ninguna explosión superior al límite de 150 kt.

---

## V. Los efectos de una explosión nuclear

PARA comprender el significado de un arsenal nuclear que guarda 45 000 bombas, es necesario conocer la capacidad destructora de cada una de ellas. Este capítulo explica cuáles son los efectos principales causados por la explosión de una bomba nuclear detonada sobre una ciudad moderna.

El poder destructivo de una bomba, sea de tipo nuclear o químico, está relacionado directamente con la energía que se libera durante la explosión. La energía que se

libera en la explosión de 1 000 kilogramos de TNT (trinitrotolueno) es inmensa comparada con las energías encontradas en nuestras necesidades diarias. Por ejemplo, la detonación de una tonelada de TNT, libera 4 000 veces más energía que la necesaria para alzar un coche de 1 000 kilogramos de peso a una altura de 100 metros. Las explosiones de bombas nucleares liberan energías que son entre 1 000 y 1 000 000 de veces mayores aún que las detonaciones químicas, como sería la del TNT. El poder explosivo de una bomba nuclear, llamado rendimiento, se expresa mediante la comparación con el poder destructivo del TNT, y así se habla de bombas de un kilotón (un kt) si la energía liberada es la misma que se produce al detonar 1 000 toneladas de TNT. La bomba lanzada sobre Hiroshima tuvo un rendimiento cercano a los 13 kt. Si el rendimiento es de 1 000 kt, se trata de una bomba de un megatón (un Mt). Energías del orden de megatones son imposibles de imaginar dentro de las situaciones de nuestra vida diaria. El arsenal nuclear de los Estados Unidos y la URSS juntos hoy en día suma unos 12 000 megatones.

Los efectos de una explosión nuclear dependen de muchos factores, entre ellos el rendimiento del artefacto, la altura sobre la superficie a la que es detonado, las condiciones climáticas, etc. El análisis que se presenta a continuación es el resultado de consideraciones físicas sencillas y de las observaciones y estudios realizados en Hiroshima y Nagasaki, las únicas dos oportunidades en que se han empleado bombas nucleares contra una población. A continuación se describen las consecuencias locales de una explosión nuclear superficial. Si la detonación es subterránea, submarina, o en la alta atmósfera, los resultados serán diferentes. Los efectos se encuentran agrupados en inmediatos (calor, presión, radiación y pulso electromagnético) y tardíos (lluvia radiactiva e incendios extendidos).

La figura 2 ilustra lo que se entiende por *punto cero* de una explosión nuclear ocurrida a cierta altura,  $H$ . El punto cero se encuentra sobre la superficie, exactamente

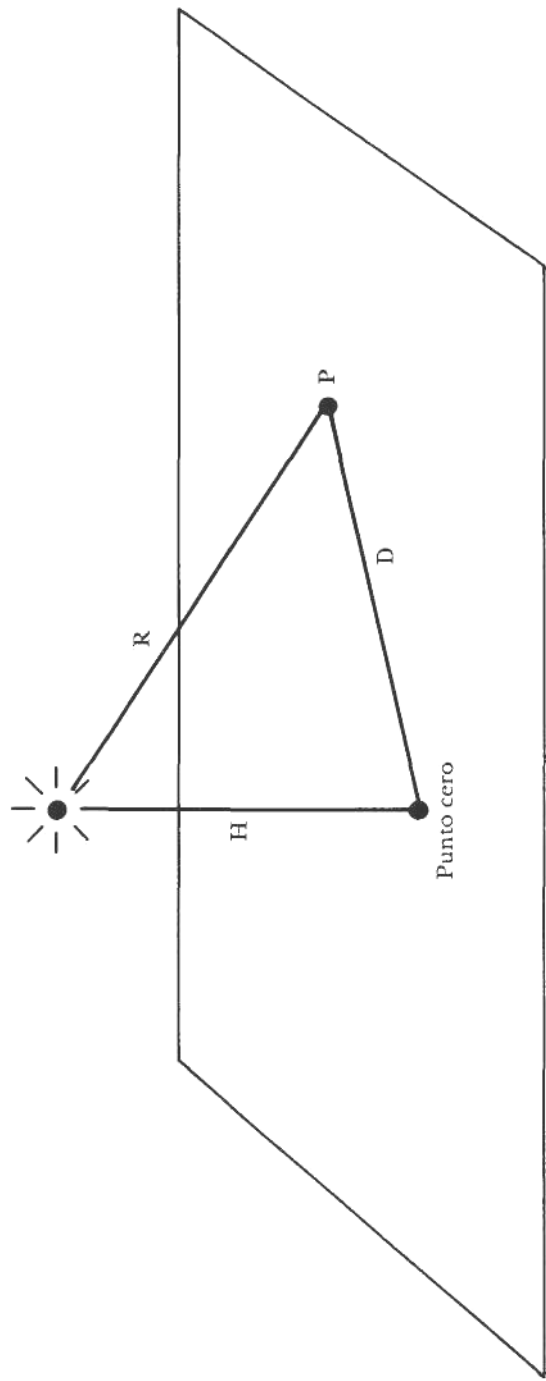


Figura 2. Cuando ocurre una explosión a una altura  $H$  el punto cero se encuentra sobre la superficie exactamente debajo de la detonación.

debajo del lugar de la detonación. Un objeto en un punto  $P$  cualquiera está a distancia  $R$  de la explosión y a distancia  $D$  del punto cero.

## EFFECTOS INMEDIATOS

### *Calor*

Una millonésima de segundo después de una explosión nuclear la temperatura dentro de la bomba alcanza unos 10 000 000 °C. El material que compone la bomba y el aire que la rodea brillan intensamente formando lo que se conoce como la bola de fuego. El brillo de la bola, unos segundos después de la detonación de una bomba de un megatón, es mayor que el del Sol al mediodía a distancias de hasta 80 km del punto cero. La bola se expande y en 10 segundos alcanza diámetros de un par de kilómetros para detonaciones de un Mt, y luego comienza a contraerse. El aire alrededor de la bola se calienta, la hace ascender a velocidades de unos 100 metros por segundo y forma el conocido hongo, cuyo tallo lo forma una corriente de aire caliente ascendente. A medida que la bola de fuego se enfría, la condensación de vapor de agua causa el color blanco, como una nube, en su extremo superior. Después de cuatro minutos, la nube de una explosión de 1 Mt ha llegado a su máxima altura, 20 km, y su diámetro alcanza unos 16 km.

El calor liberado en la explosión llega a los lugares cercanos después de algunos segundos en la forma de un pulso térmico. La energía transportada por este pulso se mide en calorías por centímetro cuadrado por segundo. Como ejemplo, mencionamos que el Sol brillando normalmente entrega 2 calorías por centímetro cuadrado cada minuto. El daño que el pulso térmico puede causar depende de varios factores: la energía que transporta, el tipo de material con que se encuentra, y el tiempo durante el cual actúa.

En los seres humanos expuestos al pulso, el daño además depende de la pigmentación de la piel, siendo mayor para pieles morenas que blancas debido a la mayor absorción térmica que presentan las sustancias oscuras. Una quemadura de segundo grado —aquella en que se pierde parte de la piel— cicatriza normalmente en dos semanas, siempre que menos de 25% del cuerpo haya sido quemado; en caso contrario, se requiere de hospitalización. Este tipo de quemaduras se producen al recibir entre cinco y seis calorías por centímetro cuadrado en 10 segundos, lo que ocurrirá a distancias cercanas a los 13 km de una detonación de un megatón. Quemaduras más graves se producen al recibir mayor energía, lo que ocurre a distancias menores. La observación directa de la bola de fuego causa ceguera permanente en individuos que se encuentren a menos de 25 km, y quemadura de la retina a quien mire la explosión en un día despejado hasta los 60 km de distancia.

Cualquier material opaco actúa como blindaje contra el pulso térmico, de modo que las personas que se encuentren protegidas detrás de un árbol, una pared, o incluso sus propias vestimentas, no sufren los efectos directos de la energía calórica. Sin embargo, es posible que sufran daño serio de modo indirecto a causa de los incendios que el pulso puede desencadenar a su paso. La ropa se enciende con 20-25 calorías por centímetro cuadrado recibidas en pocos segundos, situación que se encuentra hasta a ocho km del punto de detonación. Entre los materiales que más fácil prenden se encuentran el papel y las hojas secas, 10 calorías por centímetro cuadrado en 10 segundos, y los materiales de relleno en muebles y colchones. Estos incendios pueden verse empeorados debido a los fuertes vientos que acompañarán la onda de choque, tal como se describe en la próxima sección. Sobra recordar que en caso de una explosión nuclear sobre una ciudad los sistemas de urgencia, ambulancias, carros de bomberos, etc., estarán imposibilitados de circular en ca-

lies totalmente bloqueadas por los restos de edificios y construcciones. La probabilidad de sufrir una infección debido a las quemaduras recibidas se verá aumentada a causa del daño que el sistema inmunológico recibe por la radiación.

### *Presión*

La energía liberada por la explosión nuclear calienta la zona de la bomba —de aproximadamente un metro de diámetro inicial— a altas temperaturas. Esto produce una región de altísima presión que ejerce gran fuerza sobre las capas de aire vecinas, las que comienzan a expandirse a gran velocidad. La velocidad es mayor que la del sonido en aire, así que se forma una onda de choque esférica compuesta por aire muy denso que se desplaza alejándose del punto de explosión. Al pasar esta onda por cualquier obstáculo, edificio, árbol, o cuerpo humano, éstos sentirán un aumento repentino de la presión atmosférica. Una vez que el frente de la onda ha pasado, y debido a la diferencia de presiones, se generan vientos huracanados de gran velocidad. Son estos dos factores, la onda de choque y el viento que la sigue, la causa del daño ocasionado a personas y construcciones. La energía transportada por estos mecanismos llega a ser 50% de la energía liberada por la bomba.

El aumento instantáneo de la presión durante el paso de la onda de choque se mide respecto de la presión atmosférica normal, a la diferencia entre ambas se la llama *sobrepresión*, y su unidad de medida es el psi (iniciales de libras por pulgada cuadrada, en inglés). Sobrepresiones entre medio y un psi tienen como efecto la ruptura de los vidrios de las ventanas, cinco psi causan la destrucción de construcciones de madera, entre ocho y 10 psi destruyen viviendas de ladrillo, y sobrepresiones de 45 psi causan la muerte de 50% de las personas debido a la compresión del cuerpo causada por la altísima presión. Los silos donde

actualmente se guardan los misiles nucleares son contruidos para soportar sobrepresiones de más de 2 000 psi. Los vientos que siguen al paso de la onda de choque llegan a alcanzar 50 kilómetros por hora tras sobrepresiones de un psi y 500 km/h tras 10 psi.

El daño en las construcciones se debe al efecto directo de la sobrepresión y del viento. En caso de una explosión de un megatón a 1 500 m de altura, todo lo que se encuentre en la superficie a una distancia menor que 2.5 km del punto cero sentirá sobrepresiones mayores que 20 psi seguidas por vientos de al menos 700 km/hora. En estas condiciones, incluso los edificios de concreto reforzado resultan destruidos. Sobrepresiones cercanas a un psi se darán en puntos que se encuentran a unos 15 km del punto cero, y en esta zona el daño a viviendas y comercio será moderado.

En los seres humanos el efecto directo más serio de la sobrepresión es el daño a la estructura pulmonar, que comienza a las 12 psi. A 100 psi de sobrepresión prácticamente no hay sobrevivencia humana.

Sin embargo, la mayoría de víctimas y heridos se deben a los efectos indirectos, sobre todo al impacto de objetos que han sido lanzados por el viento. Una ventana destruida por una sobrepresión de cuatro psi se transforma en miles de proyectiles llevados por vientos de casi 200 kilómetros por hora.

La protección de la población frente a los efectos de la onda de presión se puede lograr adentro de edificios que eviten el impacto de los objetos que vuelan en el exterior. Hay que recordar que basta un psi de sobrepresión para que trozos de vidrio y otros materiales se desplacen peligrosamente por el aire libre. En caso de existir un aviso lo bastante anticipado de la explosión, se ha recomendado a la población ingresar a un edificio, abrir las ventanas y puertas interiores para evitar que se rompan, quitar todo objeto suelto que pueda transformarse en proyectil, y cubrirse (idealmente con colchones) como protección.

Es preferible acostarse sobre el piso que permanecer de pie y, de ser posible, alejarse de las paredes ya que la onda de presión al ser reflejada por éstas pueden alcanzar fuerzas de hasta ocho veces el valor original. En Hiroshima un edificio público a sólo 160 metros del punto cero protegió efectivamente a sus ocupantes que sobrevivieron en 50% a pesar de una sobrepresión estimada de 30 psi en el lugar.

### *Radiación*

Las reacciones nucleares que ocurren durante la explosión de una bomba producen diferentes tipos de partículas energéticas y de radiaciones. Algunas son emitidas de inmediato y otras, tiempo después de la detonación. En esta sección nos referiremos a la radiación que es emitida dentro del primer minuto después de la explosión.

Los únicos productos de las reacciones nucleares que escapan fuera del material que forma la bomba son los rayos gamma y los neutrones. Los primeros son una forma energética de radiación electromagnética que se desplaza a la velocidad de la luz, y los segundos son partículas sin carga eléctrica que forman parte de los núcleos atómicos. La intensidad de estas radiaciones disminuye con la separación al punto de explosión principalmente debido a que son atenuadas por el aire.

El daño causado por una exposición a esta radiación se debe a que, al atravesar el organismo del ser vivo expuesto, los rayos gamma y los neutrones son absorbidos por el cuerpo, pudiendo resultar lesionadas algunas de sus células. Este daño celular se traduce posteriormente en trastornos físicos que, según la cantidad de radiación absorbida, pueden llegar a ocasionar la muerte.

De acuerdo con los conocimientos actuales, el daño biológico causado por cualquier tipo de radiación está directamente relacionado con la cantidad de energía depositada por la radiación en el organismo, a lo que lla-



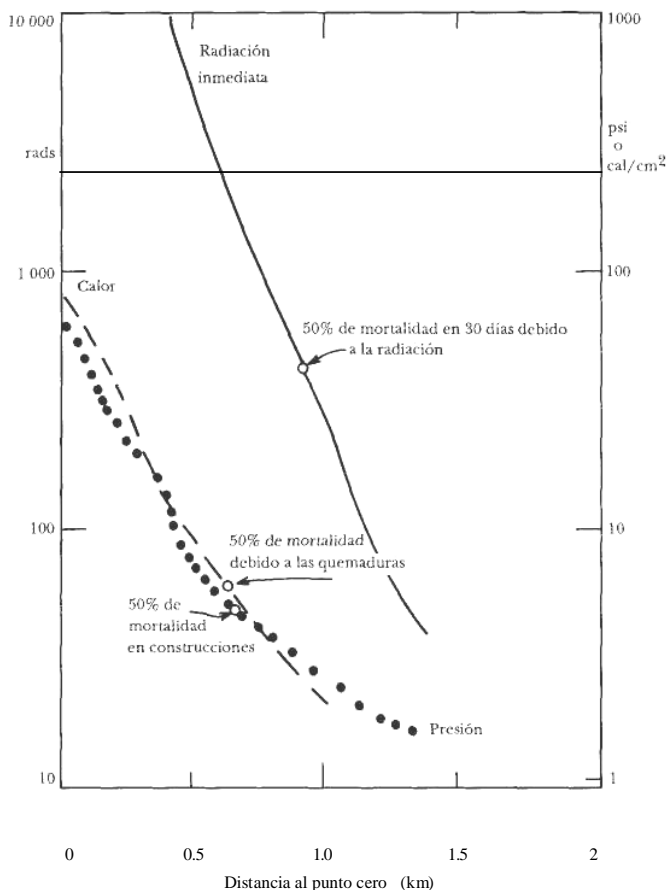


Figura 3. Efectos inmediatos causados por una bomba de fisión de 1 kilotón detonada a 200 metros de altura. Las curvas comparan el efecto de la radiación, el calor, y la presión. Se indican las distancias desde el punto cero donde la mortalidad es superior al 50%. (Figura tomada del libro de Craig y Jungerman.)

maremos *dosis*. La unidad que se usa para medir dosis de radiación es el rad. Todo ser vivo sobre la Tierra recibe anualmente alrededor de un décimo de rad a causa de factores ambientales naturales, como los rayos cósmicos que nos llegan desde el centro de la galaxia, o la radiactividad natural de la corteza terrestre. Dosis similares a este

valor se consideran relativamente libres de riesgo debido a que la vida que hoy conocemos sobre nuestro planeta ha logrado desarrollarse y evolucionar en la presencia continua de estos niveles de radiación. En el extremo opuesto, una dosis de 400 rads se considera letal para 50% de los seres humanos expuestos a ella. Las muertes ocu-

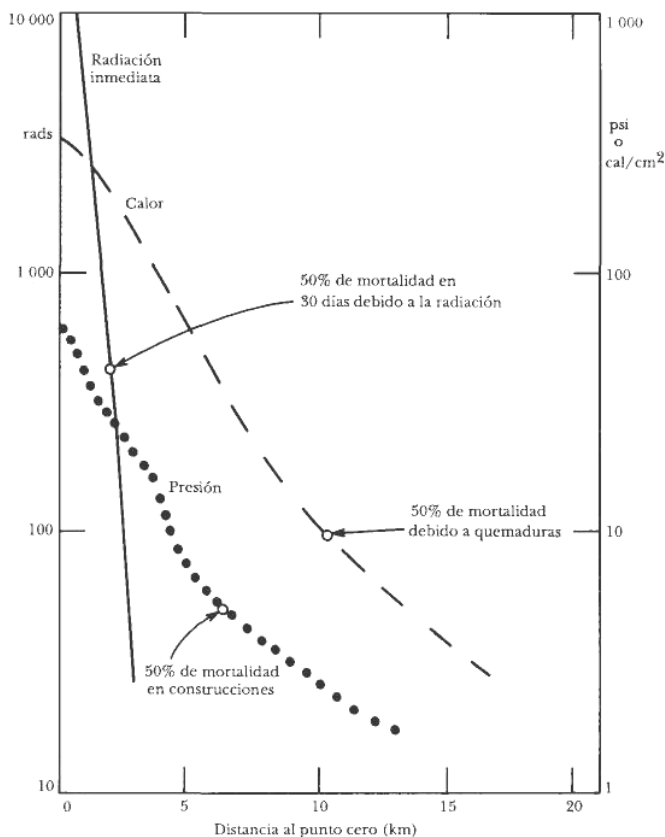


Figura 4. Efectos inmediatos causados por una bomba termonuclear de 1 megatón detonada a 2 000 metros de altura. Nótese que en este caso el efecto más letal es el del calor, mientras que en la Fig. 3, para una bomba de bajo rendimiento, el efecto que más se extiende es el de la radiación. (Figura tomada del libro de Craig y Jungerman.)

ren dentro de los 30 días posteriores a la exposición, y aquellos que consiguen sobrevivir lo hacen gracias a la atención médica especializada.

La dosis inmediata causada por una explosión nuclear puede llegar a los millones de rads cerca del lugar de la detonación, pero es rápidamente atenuada por el aire. En el caso de una bomba de alto rendimiento (megatones), la zona de dosis letal se sitúa adentro de la región devastada por el calor y la presión, por lo que la radiación inmediata no contribuye con nuevas víctimas. Para bombas pequeñas (pocos kilotones), la zona de dosis superior a los 400 rads coincide con la zona donde los efectos de la onda de choque y del calor son causa probable de muerte. Las figuras 3 y 4 ilustran el efecto relativo de los factores inmediatos para la detonación de bombas de un kilotón y de un megatón cerca de la superficie.

### *Pulso electromagnético*

En contraste con los tres efectos inmediatos ya descritos, el pulso electromagnético no causa ni la destrucción física de viviendas ni daño directo a los seres vivos. En cambio, puede ser devastador para los sistemas telefónicos, de comunicaciones, de cómputo, y en general para cualquier circuito que contenga componentes electrónicos. Los efectos del pulso llegan a miles de kilómetros de distancia de la explosión.

Al detonar una bomba nuclear se produce una gran cantidad de rayos gamma emitidos en todas direcciones. Estos rayos se encuentran con las moléculas del aire, les arrancan algunos de sus electrones que son así acelerados, y se produce un pulso de campo electromagnético que se desplaza por el espacio a la velocidad de la luz. Ya que la intensidad inicial de radiación es muy grande, las diferencias de potencial producidas por este fenómeno son inmensas, llegando a alcanzar miles de voltios por

metro. Diferencias de potencial de esta magnitud inducen corrientes del orden de miles de amperes en los materiales conductores encontrados por el pulso. Éstos pueden ser las líneas de alumbrado, las antenas, los aparatos de radio y TV, las estaciones de transmisión y las computadoras. Como estos equipos por lo general no están protegidos contra corrientes tan altas, seguramente quedarán inservibles una vez pasado el pulso. Otros sistemas que podrían resultar dañados por el pulso electromagnético son los de control militar, que quedarían así incapacitados para responder al ataque.

Se estima que una sola bomba de un megatón detonada a gran altura (unos 500 km) sobre el centro de los Estados Unidos o la URSS, podría destruir gran parte del sistema de telecomunicaciones, la red de distribución de energía eléctrica, y dañar seriamente el equipo de radares, aviones y misiles militares.

Una posible protección contra los efectos del pulso consistiría en encerrar todos los circuitos en "jaulas" metálicas con excelentes conexiones a tierra. Sin embargo, esto no se puede hacer con todas las líneas de teléfono ni las de energía eléctrica debido al altísimo costo de la operación. Las medidas de seguridad contra los efectos del pulso electromagnético, que son hoy en día parte fundamental de cualquier estrategia basada en la capacidad de respuesta ante un ataque nuclear, se limitan al blindaje del sistema de comunicación militar.

## EFFECTOS TARDÍOS

### *Lluvia radiactiva*

Se llama lluvia radiactiva a la caída sobre la superficie terrestre del material radiactivo producido por una explosión nuclear. Los átomos que forman esta lluvia emiten continuamente algún tipo de radiación que en potencia es dañina para los seres vivos alcanzados por ella.

Durante la explosión de una bomba nuclear, se producen muchos tipos de núcleos radiactivos, en particular los fragmentos de la fisión del uranio. Estos núcleos permanecen localizados en la zona que ocupaba la bomba y son vaporizados por la alta temperatura de la bola de fuego. También se producen neutrones que escapan de la bomba a gran velocidad y son absorbidos por los materiales sobre la superficie. Muchos núcleos estables al absorber un neutrón se transforman en núcleos radiactivos que a partir de ese momento comienzan a emitir radiación espontáneamente. Gran parte del material situado cerca del punto cero de la explosión (para una detonación de baja altura) es aspirado por la corriente de aire ascendente creada por la bola de fuego y sube a la atmósfera a través del tallo del hongo nuclear. Entre las sustancias que son inyectadas a la atmósfera por la explosión se encuentran los fragmentos de fisión y los núcleos activados por los neutrones. Este material radiactivo regresará a la superficie terrestre dentro de algunos días, meses o años, de acuerdo con el tamaño de la partícula a la cual están incorporados. Las partículas grandes —de algunos milímetros— ascienden hasta la baja atmósfera y vuelven a caer dentro de uno o dos meses arrastrados principalmente por la lluvia y la nieve. El polvo más fino —de milésimas de milímetro— logra llegar a la alta atmósfera, y ahí puede permanecer entre uno y tres años antes de regresar a la superficie. Los vientos y la circulación del aire entre las capas atmosféricas determinan dónde caerá la lluvia radiactiva, pudiendo trasladarse incluso de un hemisferio a otro antes de volver a la superficie.

Debido a la lluvia radiactiva se producen altos niveles de radiación que disminuyen a medida que transcurre el tiempo. La figura 5 es una gráfica de valores relativos de la dosis recibida en un lugar cualquiera a causa de la explosión de una bomba nuclear. Los niveles de radiación disminuyen aproximadamente en proporción con el tiempo transcurrido. Así, si la dosis en un punto es de

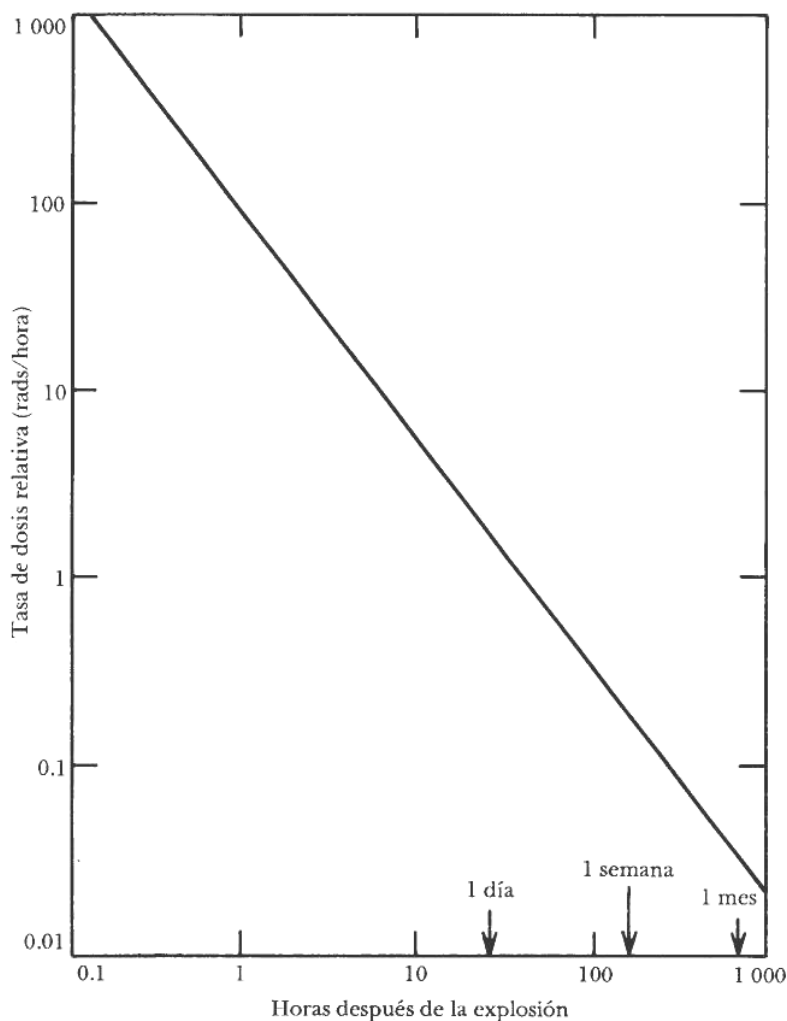


Figura 5. Valores relativos de la dosis recibida en un punto cualquiera debido a la lluvia radiactiva durante el primer mes después de la explosión. (Figura tomada del libro de Craig y Jungerman.)

100 rads/hora una hora después de la detonación, será de 50 rads/hora dos horas después, de 25 rads/hora cuatro horas después, etc. Los valores absolutos de la dosis dependen del tipo de bomba, del rendimiento, de la altura de la explosión, y de la distancia al punto cero, entre otros factores. Si todo el material radiactivo producido por la detonación de una bomba de fisión de un kilotón se distribuyera en un cuadrado de 1 kilómetro por lado, una hora después de la explosión la dosis a un metro de altura en el centro del cuadrado sería de unos 5 000 rads/hora.

El principal riesgo biológico de la lluvia radiactiva lo constituyen los rayos gamma emitidos por el material activado. Esta radiación es muy penetrante y atraviesa el cuerpo de los seres humanos depositando en ellos parte de su energía. También se emiten partículas alfa y beta, pero son poco penetrantes, el grosor de la ropa o la piel las detiene, y sólo causarían quemaduras si se depositaran directamente sobre la piel. Un riesgo especial lo constituye la incorporación de núcleos radiactivos a la cadena alimentaria, ya sea a través de la comida ingerida por los animales o en forma directa por el ser humano. En este caso, la radiación poco penetrante emitida desde el interior del cuerpo es totalmente absorbida por el mismo organismo y el riesgo de enfermedades genéticas y de cáncer es muy alto, incluso para dosis pequeñas de radiación. Este punto se discute más en detalle en el capítulo sobre los efectos globales de una guerra nuclear.

La figura 6 muestra la distribución de la dosis causada por un ensayo nuclear norteamericano ocurrido en las islas Marshall en 1954. La bomba que fue probada en esa ocasión tuvo un rendimiento de 15 megatones, produjo un cráter de dos kilómetros de diámetro, y lanzó varios millones de toneladas de material radiactivo a la atmósfera. Según fuentes de información estadounidense, un cambio repentino en el viento causó que el atolón Rongelap, a 160 km del lugar de la explosión, recibiera en su extremo norte dosis acumuladas (durante las 96 horas

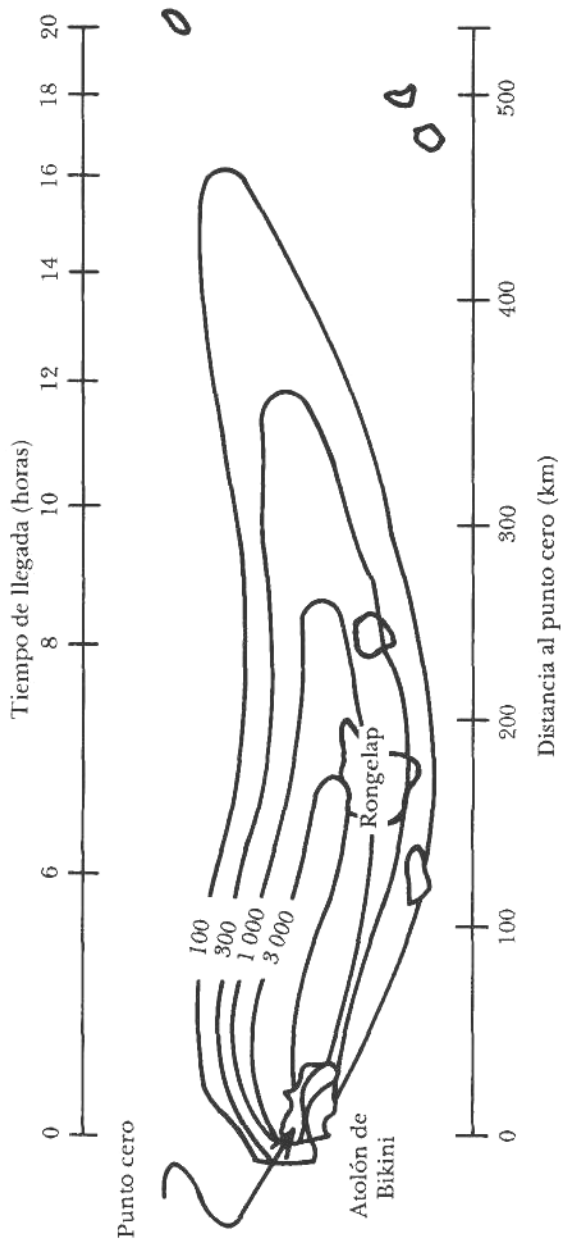


Figura 6. Dosis acumuladas (en rads) 96 horas después de la explosión de ensayo Bravo ocurrida en las islas Marshall. La bomba fue detonada en el Atolón Bikini y la radiación alcanzó niveles letales en el Atolón Rongelap, que estaba habitado.



que siguieron a la detonación) muy superiores a las letales (unos 400 rads). Cientos de isleños que normalmente habitaban en el norte de la isla se encontraban en la parte sur, asistiendo a una celebración religiosa. Recibieron unos 175 rads y se salvaron por milagro de la muerte inmediata, pero el grupo presentó posteriormente alta incidencia de cáncer y enfermedades en la glándula tiroidea. Los niveles letales de dosis llegaron hasta los 350 km de distancia, y la radiactividad fue tal que se debió controlar la pesca en el Japón, pues las corrientes marinas transportaron sustancias radiactivas y peces contaminados por ellas hasta las costas niponas.

La figura 7 muestra los niveles de contaminación radiactiva del aire en diferentes puntos del territorio chileno después de las pruebas nucleares atmosféricas francesas durante junio y julio de 1972. Francia acostumbra realizar sus ensayos nucleares en territorios de ultramar, y la figura se refiere a la detonación de 60 kilotonas en su terreno de pruebas del archipiélago Tuamotú, en el Pacífico Sur, unos 6 000 km al oeste de las costas chilenas.

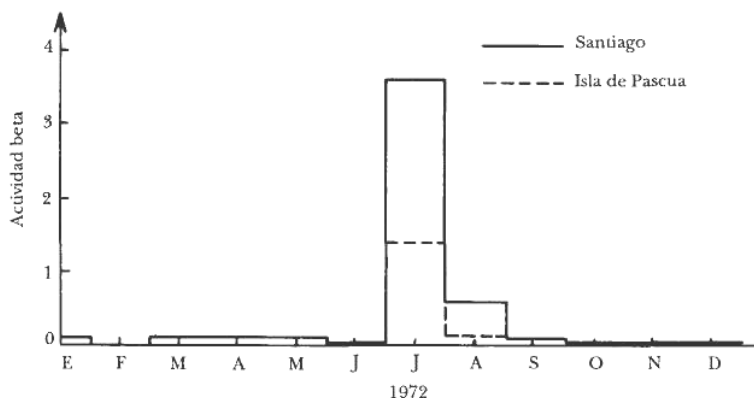


Figura 7. Niveles de radiación en el aire chileno después de los ensayos atmosféricos franceses en el Pacífico Sur. Las explosiones ocurrieron el 25 de junio, el 1 y el 29 de julio de 1972.

Los niveles de actividad llegaron a ser 100 veces los normales como consecuencia del transporte de la lluvia radiactiva por el viento. La isla de Pascua, que se encuentra a unos 3 000 km del lugar del ensayo, recibió menos lluvia a causa de las condiciones meteorológicas.

Una protección sencilla contra la lluvia radiactiva la constituye cualquier subterráneo o construcción de muros suficientemente gruesos. Unos 30 cm de concreto o medio metro de tierra reducen la intensidad de la radiación en un factor de 10. Ya que 80% de la dosis es recibida durante el primer día, la permanencia en un refugio puede reducir considerablemente los efectos de la radiación.

### *Incendios extendidos*

Como consecuencia del daño inmediato causado por la onda de presión y el calor, se producirán incendios aislados que podrían incorporarse a uno más generalizado. Tuberías de gas destrozadas, acumulaciones de madera o papeles, y sobre todo detalles geográficos de la ciudad determinarán la extensión del fenómeno. Después de la explosión sobre Hiroshima se produjo un gran incendio que asoló varias manzanas de la ciudad. En Nagasaki esto no ocurrió debido al terreno accidentado, lleno de colinas, que bloquearon parcialmente el calor y el viento e impidieron que los incendios pequeños se fundieran en uno solo. Estos incendios son similares a las "tormentas de fuego" conocidas en ciudades europeas después de los bombardeos aéreos de la segunda Guerra Mundial.

Cualquier edificio o subterráneo es un refugio seguro, al menos durante un par de horas, en la posibilidad de uno de estos grandes incendios. Las principales precauciones que se deben tomar son mantener una reserva suficiente de oxígeno y evitar la entrada del monóxido de carbono producido en la combustión externa al refugio.

## VI. Un megatón sobre La ciudad de México

LUEGO de describir en general los efectos de una explosión nuclear sobre una ciudad, en este capítulo tomaremos como ejemplo concreto los efectos que causaría la detonación de una bomba de un megatón sobre el centro de la ciudad de México. El ejemplo es válido para cualquier metrópoli que se extiende sobre un círculo con radio de 10 kilómetros o más.

En un día claro, a 2 000 metros de altura sobre la Plaza de la Constitución mexicana, más conocida como el Zócalo, se detona una bomba nuclear con un rendimiento de un megatón. Esta plaza, ubicada justo debajo del punto de detonación, es el llamado punto cero de la explosión. Dos segundos después de la detonación se ha formado a 2 000 metros de altura una bola de fuego caliente y luminosa y una onda expansiva que toca la superficie del centro de la ciudad. La destrucción de gran parte de la capital se deberá principalmente a los efectos del calor irradiado y de la onda de alta presión que continuará expandiéndose por decenas de kilómetros. La figura 8 indica las diferentes zonas de daño en la ciudad.

Dentro de un radio de cuatro kilómetros centrado en el Zócalo, y durante los 10 primeros segundos después de la explosión, la presión sobrepasará las 10 psi, por lo que toda construcción quedará completamente destruida y no habrá sobrevivientes. Esta zona tiene como límites el monumento a la Raza, el extremo occidental de aeropuerto, el Palacio de los Deportes, el Parque del Seguro Social y las rejas de Chapultepec junto al monumento a los Niños Héroe.

Para distancias entre cuatro y seis kilómetros del punto cero, 15 segundos después de la explosión las presiones alcanzarán valores entre cinco y 10 psi, quedando en pie solamente los cimientos y los subterráneos de los edifi-

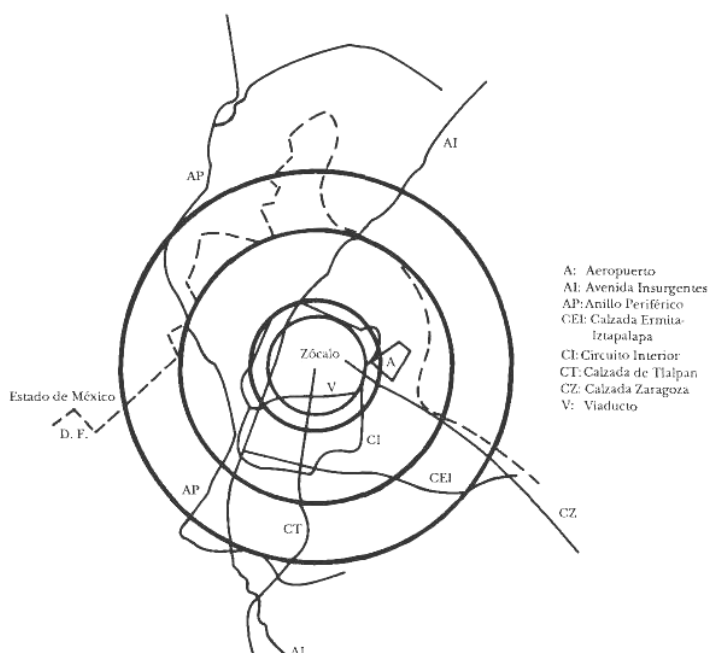


Figura 8. Zonas dañadas durante la explosión hipotética de una bomba de 1 megatón a 2 000 metros de altura sobre el Zócalo de la ciudad de México. Los cuatro círculos señalan el límite de las zonas donde el pulso de presión sobrepasará las 10, 5, 2, y 1 psi, respectivamente.

cios. Las calles estarán cubiertas por varios metros de escombros y más o menos la mitad de la población que habita en este anillo morirá principalmente debido al derrumbe de las construcciones. Quienes logren sobrevivir estarán heridos y necesitarán ayuda médica. Los vientos que sigan a la onda explosiva tendrán velocidades de unos 300 kilómetros por hora. Esta zona de destrucción se extiende hasta la Basílica de Guadalupe, por el Norte, el Peñón de los Baños por el Este, la colonia Portales y el Hotel de México por el Sur y el Auditorio Nacional en Chapultepec por el Oeste.

El anillo comprendido entre distancias de seis y 11

kilómetros al Zócalo sentirá, medio minuto después de la detonación, presiones entre dos y cinco psi, por lo que las construcciones quedarán gravemente dañadas y habrá muchísimos heridos. Es probable que los edificios que queden en pie se incendien debido al calor producido por la explosión, mismo calor que causará quemaduras en la piel de las personas. Estas distancias desde el punto cero llegan hasta el límite norte con el estado de México, Ciudad Nezahualcóyotl, y Ciudad Universitaria. Desde el Zócalo hasta estos límites, todas las ventanas de construcciones y edificios se quebrarán debido a la onda de presión.

Finalmente, dentro del anillo formado por radios de 11 y 16 kilómetros desde el centro de la ciudad, el daño de la onda explosiva será menor en las construcciones, pero es posible que 25% de la población resulte herida. Este último anillo llega hasta Tlalnepantla, Tlalpan y la delegación Magdalena Contreras.

Medio minuto después de la explosión, la bola de fuego deja de ser visible y al ascender a gran velocidad produce corrientes de aire que arrastran polvo y restos de las construcciones destruidas y forma el hongo nuclear. Una nube radiactiva que contiene elementos activados durante la explosión y productos de la fisión del uranio ascenderá hasta unos 20 kilómetros de altura y luego será dispersada por el viento para volver a caer lentamente sobre regiones alejadas del lugar de la explosión.

La radiación inmediata es letal para aquellas personas que se encuentren dentro de un radio de tres kilómetros del punto cero, pero esta zona ya ha sido totalmente devastada por los efectos de la onda de presión y del calor, por lo que de todos modos no hay sobrevivientes. Dentro de un área de unos 1 000 kilómetros cuadrados alrededor del Zócalo y durante uno o dos días después de la explosión, caerá la lluvia radiactiva, en forma de polvo o granitos de tierra que emiten radiación espontáneamente. Los niveles de radiación sobre un área de  $2\,600\text{ km}^2$  (hasta

distancias de 29 km del centro, es decir, Texcoco, Ecatepec, el Ajusco) serán letales para toda persona expuesta (es decir, sin la protección adecuada), ya que llegarán a los 900 rads. Dentro de una superficie de 10 500 km<sup>2</sup> (57 km de distancia al Zócalo), la dosis de radiación recibida por individuos no protegidos durante los primeros días que sigan a la explosión llegará a unos 100 rads. Tal vez esto no causará la muerte inmediata, pero sí aumentará gravemente la incidencia de cáncer y anomalías genéticas en la población. En nuestro ejemplo, estos efectos se harán sentir en zonas que llegan hasta los volcanes, el valle de Cuernavaca, Chalma y Toluca, o incluso más lejos, dependiendo de la intensidad y dirección de los vientos.

El número total de muertes después de una explosión como la descrita dependerá de muchos factores diferentes: la densidad de la población en las cercanías al punto cero, la hora del día en que ocurra la explosión, las condiciones atmosféricas, y otras más difíciles de precisar. Para una ciudad muy poblada se estima que 500 000 personas morirán inmediatamente, quedando un número similar de heridos. Hay que recordar que debido a la destrucción reinante no se puede esperar ningún tipo de ayuda de bomberos para sofocar los incendios que se declaren, ni de personal médico para rescatar heridos. El tránsito por las calles será imposible (no será fácil reconocer lo que antes era una calle) y seguramente los hospitales habrán sufrido el mismo daño que el resto de la ciudad. Tomando estos factores en cuenta, el número de víctimas podría llegar al 1 000 000 de personas.

El análisis presentado ha supuesto que la metrópoli sería atacada con un solo artefacto nuclear. La estrategia militar actual recomienda que toda ciudad con más de 3 000 000 de habitantes sea el blanco de tres bombas de un megatón, 10 bombas de 500 kilotones, y otras tantas de menor poder explosivo. De este modo, es seguro que no habrá sobrevivientes.

## VII. Los efectos mundiales de una guerra nuclear

UNA vez considerados los efectos locales de una explosión nuclear, corresponde examinar los efectos, tanto físicos como biológicos, inmediatos y tardíos, de una guerra entre las grandes potencias nucleares. Se verá que, además de repetirse la situación ya descrita en cada una de las ciudades bombardeadas, se anticipan efectos globales que pondrían en juego la vida del resto de los habitantes del planeta.

### EFFECTOS DIRECTOS EN LOS LUGARES BOMBARDEADOS

Los efectos directos de una guerra nuclear en que se detone una fracción considerable del arsenal serán la suma de los efectos del calor, presión, radiación y lluvia radiactiva descritos en los capítulos anteriores para cada blanco atacado. Recordemos que el arsenal mundial hoy en día alcanza unos 12 000 megatones de poder explosivo concentrado en unas 45 000 bombas.

En 1979, la Oficina de Evaluación Tecnológica de los Estados Unidos estudió las consecuencias de un ataque soviético contra 250 ciudades norteamericanas en que se detonaran un total de 7 800 megatones. Se concluyó que las víctimas fatales serían entre 155 000 000 y 165 000 000 de norteamericanos, además de unas decenas de millones de heridos graves. Un ataque similar contra la Unión Soviética resultaría en 50 000 000 a 100 000 000 de muertes.

Un estudio diferente es el publicado en 1982 por la Real Academia Sueca de Ciencias. Este análisis considera el intercambio de bombas nucleares entre varios países, siendo bombardeadas ciudades, centros industriales, eco-

nómicos y militares. Las regiones atacadas son, además de los Estados Unidos y la Unión Soviética, el continente europeo, China, Japón, Corea, y otros países que podrían intentar dominar el ambiente político internacional después de la guerra nuclear. El estudio supone 4 970 bombas dirigidas contra ciudades (125 de ellas hacia el hemisferio sur), totalizando 1 941 megatonnes. Otros 700 megatonnes se dirigen contra refinerías de petróleo, plantas de energía eléctrica, industrias y pozos petroleros alejados de los centros poblados. Finalmente, 6 641 bombas con un rendimiento total de 3 100 megatonnes atacarían blancos militares, como aeropuertos, puertos navales, submarinos nucleares y misiles balísticos intercontinentales. El resultado final de este escenario en que se detonan 5 741 megatonnes —apenas la mitad del arsenal total actual— es la muerte de 866 000 000 de seres humanos además de 280 000 000 de heridos. Muchos de los heridos morirían dentro de unos días debido a la imposibilidad de recibir ayuda médica, totalizando entonces unos 1 000 millones de víctimas fatales a causa de los efectos directos de las explosiones.

EFFECTOS INDIRECTOS  
PARA EL RESTO  
DEL PLANETA

*Efectos físicos*

El estudio más conocido sobre los efectos físicos globales de una guerra nuclear lo constituye el trabajo de Turco, Toon, Ackerman, Pollack y Sagan (TTAPS), científicos de diferentes instituciones norteamericanas, que apareció publicado en la revista *Science* en diciembre de 1983. El resultado principal de este estudio fue que, como consecuencia del intercambio de bombas nucleares durante una guerra, el polvo inyectado en la atmósfera por las explosiones más el humo y el hollín de los incendios generados en ciudades y bosques causarían una atenuación signifi-



cativa de la luz solar sobre todo el planeta, registrándose en el hemisferio norte temperaturas promedio bajo cero durante un par de meses después de la guerra. El hemisferio sur podría recibir una fracción importante del polvo levantado y de la radiactividad producida, en un tiempo relativamente corto posterior a las detonaciones, sufriendo también graves perturbaciones climáticas y biológicas.

El estudio TTAPS analiza varias estrategias militares posibles para el intercambio de artefactos nucleares. La variedad incluye desde la detonación de "sólo" 700 bombas dirigidas únicamente contra silos militares, hasta un intercambio total de 25 000 megatones en una llamada "guerra del futuro". Nos referimos en detalle a lo que el informe considera el escenario básico: la detonación de 5 000 megatones en el hemisferio norte, mediante 10 400 explosiones de diferente rendimiento, dirigidas en 20% contra centros urbanos o industriales, y el resto contra blancos militares.

Una explosión nuclear cerca de la superficie genera gran cantidad de polvo que asciende a la atmósfera llevado por la corriente de aire caliente que produce la bola de fuego. Resultados obtenidos en ensayos de explosiones nucleares sobre la superficie indican que por cada megatón de rendimiento explosivo se inyectan más de 100 000 toneladas de polvo en la atmósfera. Igualmente, se sabe que el intenso calor generado por la explosión es capaz de incendiar zonas extendidas cercanas al punto cero. El estudio TTAPS supone que toda el área que reciba al menos 20 calorías por centímetro cuadrado se incendiará (250 kilómetros cuadrados por megatón). De acuerdo con estas hipótesis, durante una guerra nuclear con las características del escenario básico se inyectarían un total de 1 000 millones de toneladas de polvo a la atmósfera y se producirían incendios en un área total de 740 000 kilómetros cuadrados. Cerca de la mitad de la superficie de las ciudades atacadas directamente por las bombas sería

destruida por el fuego, lo que equivale a un sexto del área mundial hoy día urbanizada. La cantidad total de humo emitido (en unos pocos días) alcanzaría unos 255 000 000 de toneladas, comparable con la emisión mundial normal durante todo un año.

El polvo y el humo suspendidos en la atmósfera atenuarán la luz del Sol, de modo que a la superficie llegará solamente una fracción de la intensidad normal. Para el hemisferio norte se anticipa una iluminación solar entre dos y 20 veces menor que la normal durante las primeras siete semanas después de la guerra. En la figura 9 se muestra (curva continua) la temperatura ambiental promedio predicha para las zonas continentales del hemisferio norte durante el primer año posterior a la guerra descrita por el escenario básico del estudio TTAPS. Entre tres y cuatro semanas después del intercambio nuclear, la temperatura ambiental promedio será cercana a los 20 °C bajo cero. Las temperaturas permanecerán bajo cero grados durante unos tres meses, y luego regresarán muy lentamente a sus valores normales. El elemento con mayor efecto en estos cambios climáticos es el hollín (grafito) producido en los incendios. Este material tiene una alta capacidad de absorción de luz visible y reemisión en el infrarrojo, causando un efecto de invernadero invertido, ya que al encontrarse depositado a suficiente altura enfría la superficie terrestre y calienta la alta atmósfera.

Resultados no muy diferentes del caso básico se obtuvieron para otros escenarios en que se detonan entre 3 000 y 10 000 megatones en condiciones similares a la suposición original (curvas discontinuas en la figura 9). Un resultado inesperado del estudio lo constituye el caso posible de "sólo" 100 megatones detonados en 100% sobre ciudades. Suponiendo 1 000 explosiones de 100 kilotones cada una, las materias inyectadas a la atmósfera absorberían la luz solar al punto de causar temperaturas tan bajas como las del escenario básico de 5 000 Mt. La explicación de este efecto radica en la alta concentración de

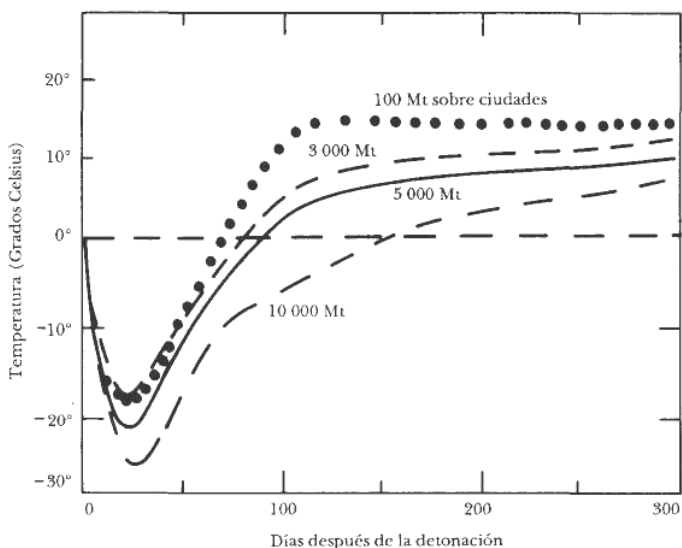


Figura 9. Predicciones de alteración de la temperatura ambiental promedio en el Hemisferio Norte como consecuencia de la detonación de gran parte del arsenal nuclear durante una guerra. La curva continua representa el escenario básico del estudio TTAPS.

combustibles en una ciudad moderna, lo que produciría gran cantidad de hollín al incendiarse. A causa de estos resultados que anuncian disminuciones apreciables de la temperatura en todo el hemisferio norte para cualquier estrategia razonable de guerra nuclear, el fenómeno pre-dicho por el informe TTAPS se conoce como el "invierno nuclear".

La influencia moderadora del océano, que no está considerada en estos cálculos de temperaturas hemisféricas promedio, podría modificar los resultados hasta en 70% en las regiones costeras. Esto quiere decir que en las costas se registrarían temperaturas de unos 10 °C bajo lo normal durante los tres primeros meses. Hay que señalar que un cambio climático que redujo durante algunos meses la temperatura promedio de Canadá en "tan sólo" 1 °C fue

suficiente para impedir el cultivo de trigo durante toda una temporada.

En el hemisferio sur, los cambios atmosféricos posteriores a una guerra nuclear se producirían no sólo debido al polvo y el humo inyectados en la atmósfera por las explosiones que ocurran en el propio hemisferio, sino también debido al transporte de los mismos elementos desde el hemisferio norte. Este transporte interhemisférico lo producen vientos —como los monzones— que normalmente atraviesan la línea ecuatorial, y corrientes de aire en la media y alta atmósfera. Evidencia de este tipo de transporte entre un hemisferio y el otro se ha observado en fenómenos atmosféricos del planeta Marte, en que tormentas de polvo producidas en una región bien localizada se distribuyen a todo el planeta dentro de unos 10 días. También, los estudios realizados durante la erupción del volcán El Chichón, ubicado a 14 grados de latitud Norte, indicaron que entre 10 y 20% del polvo inyectado en la alta atmósfera había sido transportado al hemisferio sur siete semanas después de la erupción. Basándose en estas evidencias, es razonable esperar una rápida distribución mundial del polvo y el humo que se produzcan durante una guerra que puede afectar directamente sólo a un hemisferio.

Uno de los casos estudiado por TTAPS se refiere a los efectos atmosféricos globales en el hemisferio sur que produciría la detonación de 300 bombas de un megatón (50% sobre ciudades) en este hemisferio, además de la mitad del polvo y el humo producidos durante el intercambio básico de 5 000 megatones en el hemisferio norte. Esto presupone un transporte interhemisférico rápido del material depositado en la atmósfera. El análisis concluye que la temperatura de la superficie del hemisferio sur bajaría unos 8 °C a las pocas semanas y permanecería durante ocho meses unos cuatro grados bajo lo normal. El invierno nuclear se extendería sobre todo nuestro planeta.

Otros efectos que es necesario considerar son los niveles

globales de radiación causados por la lluvia radiactiva y la disminución de la capa de ozono a causa de la producción de óxidos de nitrógeno por la bola de fuego. Para el escenario básico, suponiendo que la mitad de las bombas sean de fisión, TTAPS predice para el hemisferio norte dosis promedio de 20 rads que serían recibidas por la población durante el transcurso de varios meses. Esta estimación considera una exposición sin protección especial a los rayos gamma emitidos por la lluvia radiactiva caída a partir de dos días después de las explosiones, es decir, se aplica a regiones que no fueron directamente bombardeadas. En las latitudes medias del hemisferio norte, donde tal vez se detonarían la mayoría de las bombas, los valores pueden ser dos o tres veces mayores, estimándose unos 50 rads debido a irradiación externa de rayos gamma más 50 rads a causa de la ingestión de alimentos contaminados con radiactividad. Esta región de altas dosis incluye la mitad norte de México. En las zonas ecuatoriales y polares del hemisferio norte, los valores serían unas dos o tres veces menores que el promedio, y podemos esperar en particular para América Central una irradiación total (externa más interna) cercana a los 10 rads. Esto es unas 100 veces los valores promedio de la radiación natural de fondo.

Para el hemisferio sur se pueden estimar los niveles de dosis recibidos después de la explosión de los 5 000 megatones del escenario básico suponiendo que la mitad del material radiactivo en suspensión sea transportado al hemisferio sur y que estas partículas comiencen a caer un mes después de las detonaciones. Bajo estas suposiciones, en promedio se recibirían dosis cercanas a los ocho rads, incluyendo tanto la irradiación externa como la ingestión de sustancias radiactivas incorporadas a las cadenas alimentarias. Estos niveles de radiación, que son unas 80 veces los valores normales de fondo, se deberían únicamente a una guerra ocurrida en el hemisferio norte, sin considerar los efectos locales de posibles ataques a blancos

en el hemisferio sur. (Uno de los casos extremos estudiado por TTAPS supone un intercambio de 10 000 megatones en el hemisferio norte y 100 Mt contra ciudades del hemisferio sur. Los niveles de radiación serían entre 20 y 200 rads durante el primer mes en el hemisferio austral.)

Finalmente, el estudio de TTAPS estima el efecto causado por la detonación de los 5 000 megatones del escenario básico en la capa de ozono que rodea a la Tierra. Es sabido que la molécula de ozono absorbe eficientemente parte de la radiación ultravioleta proveniente del Sol y evita los efectos dañinos que esta componente de la luz solar causa en los seres vivos. Según TTAPS, se puede esperar una reducción de 30% en la capa de ozono, que resultaría en un aumento de la intensidad de luz ultravioleta al doble de los valores actuales durante el primer año posterior a la guerra. Este aumento se hará sentir a medida que los niveles de iluminación regresen a los normales. Los efectos biológicos que éste y los otros fenómenos predichos por TTAPS tendrían sobre el ecosistema terrestre son presentados más adelante en este mismo capítulo.

Otros estudios sobre los efectos globales de una guerra nuclear se han completado recientemente, con escenarios similares a los del grupo TTAPS, pero incorporando un análisis más detallado de algunos de los procesos. Se puede decir que todos los resultados son esencialmente consistentes entre sí. Para mejorar la precisión de este tipo de análisis se requiere de algunos experimentos y observaciones específicas cuyos resultados actualmente se desconocen. En particular, no se sabe con certeza cómo se distribuye en altura el hollín y el humo producidos en un incendio urbano o forestal, ni cómo la lluvia y la nieve podrían acelerar la caída de estos elementos a la superficie. En relación con el primer punto mencionado, a partir de comienzos de 1987 se están produciendo en los Estados Unidos incendios forestales controlados para medir la cantidad de material inyectado a la atmósfera y conocer

detalles de su distribución y posterior regreso a la superficie. Otro punto de discusión entre diferentes grupos de científicos interesados en estos temas son los detalles del mecanismo que causaría el transporte interhemisférico de polvo y humo; este conocimiento es fundamental para predecir los efectos de una guerra sobre el hemisferio sur.

### *Efectos biológicos*

Paralelamente al estudio TTAPS, en que se predicen cambios serios en el ambiente como consecuencia de una guerra nuclear y el establecimiento de una temporada "invernal" que duraría varios meses, un grupo de biólogos ha efectuado un análisis de los efectos que tal perturbación de la atmósfera, el clima y los niveles de radiación podría tener sobre el ecosistema terrestre. Estos resultados fueron publicados junto con los anteriores y los resumimos a continuación, refiriéndonos en particular al efecto del invierno nuclear sobre los ecosistemas continental, acuático, agrícola, y sobre la sociedad humana, a corto, mediano y largo plazo.

Durante los primeros meses posteriores a la guerra, el sistema terrestre continental sufrirá, independientemente de la estación del año, temperaturas en extremo bajas, que causarán daño grave a la vegetación, en particular a la del hemisferio norte, donde los efectos físicos serán mayores, y a la de las zonas tropicales, que son menos resistentes a una disminución de la temperatura ambiental. El obscurecimiento causado por las partículas suspendidas en la atmósfera reducirá los niveles de fotosíntesis hasta prácticamente eliminar la productividad de las plantas. Grandes cantidades de animales perecerán a causa del frío, la escasez de agua fresca (estará toda congelada), y la oscuridad. Al cabo del primer año, la productividad vegetal continuará disminuida, a pesar de que muchas plantas perennes y semillas especialmente resis-

tentes habrán sobrevivido. A medida que la oscuridad desaparece, los altos niveles de radiación ultravioleta causarán daño en las hojas de las plantas, debilitándolas aún más, y en la córnea del ojo de los animales, causando ceguera generalizada. Habrá pocos recursos alimenticios para los vertebrados, con la consiguiente competencia entre los animales por la comida, y una posible extinción de muchas de las especies hoy conocidas. La productividad vegetal se recuperará lentamente dentro de la década siguiente, pero el daño extenso sufrido por los ecosistemas será irreversible. La pérdida masiva de las especies, sobre todo en zonas tropicales, será la causa de una diversidad genética y de especies mucho más reducida que la alcanzada hasta el tiempo presente.

El sistema acuático natural sufrirá rápidamente después de la guerra el congelamiento de sus superficies, en particular en el hemisferio norte. La fauna y flora acuática no sentirán demasiado las bajas temperaturas, excepto por aquellas especies que habitan en zonas costeras y en depósitos acuáticos tropicales poco profundos. La reducción de los rayos luminosos prácticamente terminará con la vida del ftoplancton, eliminando la base alimentaria de muchas especies marinas y de agua dulce. Los peces que sobrevivan, y que representarán una de las pocas fuentes alimentarias para los seres humanos, estarán contaminados por las sustancias radiactivas que cayeron en el agua. La falta de ftoplancton causará la extinción de muchas especies dentro del primer año, y aunque en este plazo comenzarán los deshielos, las pérdidas serán irreversibles. Los organismos que se encuentran mejor adaptados a las fluctuaciones naturales de temperatura se recuperarán mucho mejor que las especies tropicales. Durante los 10 años siguientes el regreso a la "normalidad" para las especies acuáticas sobrevivientes será más acelerado que sobre los continentes. La fauna marina costera será entonces una fuente alimentaria viable para el ser humano, aunque todavía con niveles altos de contaminación.



La agricultura se detendrá en todo el planeta a causa de las temperaturas extremas y los bajos niveles de iluminación durante los primeros meses que sigan a la guerra. Las reservas de alimentos en los lugares bombardeados estarán destruidas, contaminadas, físicamente inalcanzables, o se agotarán pronto. Los países importadores de alimento y que no hayan sufrido ataques directos, es claro que dejarán de recibir productos de los Estados Unidos y de Europa. Al cabo del primer año, la productividad agrícola será todavía muy baja y no se contará con la ayuda de fertilizantes ni de pesticidas. Dentro de la siguiente década el restablecimiento de las actividades agrícolas en la Tierra tendrá que afrontar la reducción severa del aporte humano en cuanto a regadío, fertilizantes, y protección contra pestes y enfermedades.

Los seres humanos que sobrevivan a los efectos inmediatos de las explosiones serán quizá 50 o 75% de la población mundial actual. Durante los primeros meses se enfrentarán con temperaturas extremas, casi oscuridad permanente, cambios climáticos violentos y falta de vivienda, refugio y combustibles. Estos factores adversos producirán muerte generalizada debido a la exposición a la lluvia radiactiva, al hambre, a la falta de agua, además de la ausencia de sistemas médicos y a la tensión emocional y psicológica. No existirá ninguno de los sistemas de apoyo social, como son la distribución y venta de alimentos y de energía, los servicios de transporte, de atención médica o de comunicaciones. Después de un año, los niveles de radiación ambiental serán todavía una amenaza para los seres humanos, pero el factor más adverso en esta etapa lo constituirá la falta de producción agrícola. Surgirán epidemias con facilidad debido a la baja resistencia inmunológica de los sobrevivientes irradiados, causando gran mortalidad, ya que los sistemas de apoyo, en particular los médicos, aún no se habrán restablecido. Al volver la luz solar deberán tomarse medidas generales de protección contra la radiación ultravioleta para evitar la

ceguera. La tensión psicológica por lo vivido continuará afectando gravemente a los sobrevivientes. Durante las décadas siguientes se espera, en el mejor de los casos, un lento regreso a condiciones sociales y de desarrollo muy inferiores a las conocidas antes de la guerra.

Para resumir los resultados de los estudios expuestos en este capítulo, podemos recalcar que los efectos climáticos posteriores a un intercambio de armas nucleares limitado a cientos de megatones sobre ciudades son similares a los predichos para una guerra de mayor escala (miles de megatones). Ninguno de estos resultados es el escenario más grave imaginable dado el tamaño de los arsenales actuales. Todos los ecosistemas sufrirán situaciones fuertemente adversas. Los sobrevivientes enfrentarán fríos extremos, carencia de agua, falta de alimentos y combustibles, contaminación química y radiactiva, enfermedades e infecciones, todo esto en la oscuridad permanente, o quizá en la semioscuridad. Los efectos a mediano y largo plazo, junto con los 1 000 millones de muertes inmediatas, sugieren que podría no haber seres humanos sobrevivientes en el hemisferio norte. Los efectos en el resto del planeta, particularmente la extinción de muchas de las especies vegetales y animales existentes hoy en día, representan un grave desafío a la propia permanencia de los seres humanos sobre la Tierra.

---

## VIII. La Iniciativa de Defensa Estratégica, o "Guerra de las Galaxias"

EL DÍA 23 de marzo de 1983, el presidente Ronald Reagan anunció en un discurso televisado su intención de promover el desarrollo de un sistema defensivo contra las actua-

les armas nucleares de modo de volverlas "impotentes y obsoletas". Actualmente, la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI) es un programa de investigación cuyo objetivo es estudiar los posibles mecanismos para inutilizar los misiles soviéticos que sean lanzados contra los Estados Unidos. Se investiga el diseño y la construcción de armas totalmente desconocidas e inimaginadas, basadas en haces intensos de rayos láser, proyectiles a gran velocidad o haces de partículas subatómicas dirigidas contra los misiles y las cabezas nucleares soviéticas durante el vuelo entre la URSS y los Estados Unidos. Estas armas defensivas deberían ser capaces de inutilizar el artefacto atacante en algún punto de su trayectoria desde que es lanzado y asciende a la alta atmósfera hasta que se vuelve a sumergir para dar en el blanco. Las nuevas armas estarían instaladas en el espacio sobre cientos de plataformas especiales, o serían lanzadas al espacio al menor indicio de que se inicia un ataque, o permanecerían sobre la superficie para disparar contra las bombas que se aproximen.

El anuncio presidencial, además de traer consigo un aumento en el presupuesto para la investigación de sistemas defensivos que ya se realizaba desde hacía unos 10 años en los Estados Unidos, implica un cambio fundamental en la política armamentista. Hasta la fecha, la política nuclear de las grandes potencias ha estado fundada en el concepto de la disuasión (*deterrence*). La disuasión es un mecanismo para impedir que otra nación adopte ciertas medidas teniendo como base la capacidad ofensiva y la amenaza de una represalia si fuera atacado. El gran tamaño de los arsenales actuales se ha justificado pretendiendo asegurar una respuesta efectiva y destructora aun en el caso de recibir un primer ataque. Si la SDI resultase posible desde puntos de vista técnicos, económicos y políticos, la estrategia nuclear pasaría entonces a depender también de la capacidad defensiva y la seguridad que daría la protección.

La historia de un sistema defensivo contra misiles so-

viéticos parece haberse iniciado hace unos 20 años y estar íntimamente ligada a la persona de Ronald Reagan. En 1967, recién elegido como gobernador del estado de California, visitó el Laboratorio Nacional de Livermore, fundado 15 años antes por el doctor Edward Teller. Este laboratorio ostenta el liderazgo en la investigación estadounidense con fines bélicos. Según recuerda el propio Teller, en su visita Reagan comprendió claramente la tecnología que se desarrollaba entonces. Durante la campaña presidencial de 1980, la plataforma del Partido Republicano pidió la investigación y la creación de un sistema efectivo contra los misiles balísticos, paralelamente a la superioridad militar y tecnológica absoluta sobre la Unión Soviética. Al comenzar su primer periodo de gobierno, Reagan consultó a varios científicos y expertos sobre la posibilidad de un sistema de defensa con base en el espacio. Entre los más entusiastas con la idea se encontraba Teller, quien creía haber encontrado el modo de terminar con la estrategia de "Destrucción Mutua Asegurada" (MAD) que había dominado la política armamentista hasta entonces. E. Teller y un grupo de científicos, industriales, militares y ejecutivos aeroespaciales se entrevistaron con Reagan tres veces durante 1982 y los primeros dos meses de 1983. La primera reunión, en enero de 1982, duró una hora en vez de los 15 minutos programados. Según una fuente familiar con la entrevista, Reagan se interesó mucho en la posible utilización de rayos láser para destruir misiles y aviones. El Presidente recibió en septiembre del mismo año a Edward Teller, en privado. Analistas políticos estadounidenses opinan que los gestores directos del discurso del 23 de marzo de 1983 fueron el doctor G. A. Keyworth, entonces asesor predidicial para Ciencia, quien había sido recomendado para el cargo por E. Teller, Robert C. McFarlane, futuro asesor nacional de Seguridad, y el propio Reagan. A los pocos días del discurso, Teller escribió un artículo para *The New York Times* felicitando al Presidente y pocos meses des-

pues envió una carta a Reagan expresando que "al convertir bombas de hidrógeno en formas hasta ahora sin precedentes, y luego dirigiendo éstas de modo altamente efectivo contra blancos enemigos, se terminará con la era de MAD y comenzará un periodo de supervivencia asegurada en términos favorables para la alianza occidental". Las nuevas armas a las que Teller se refería son conocidas como armas de "tercera generación", integrando la primera las bombas de fisión, y la segunda las de hidrógeno.

Es interesante recordar en este punto lo que presidentes estadounidenses anteriores opinaron sobre sistemas defensivos. Lyndon Johnson, en 1967, intentó convencer al premier soviético Aleksei Kosygin de que la instalación de sistemas de defensa antimisiles pondría en peligro la estabilidad de la carrera armamentista, ya que cada lado intentaría producir más armas ofensivas para asegurar su capacidad de respuesta. Esto ocurrió durante una de las reuniones "en la cumbre" que fueron parte de las conversaciones SALT I, referidas en el capítulo IV. Richard Nixon, a quien correspondió firmar el tratado ABM que siguió a las SALT I, declaraba en 1969 que "aun el sistema más completo que hemos considerado, uno diseñado para proteger nuestras ciudades principales, no podría evitar un nivel catastrófico de víctimas estadounidenses en caso de un ataque soviético total y deliberado. Al oponente, [el sistema defensivo] podría parecerle como el preludio de una estrategia ofensiva amenazando la disuasión soviética". En los 15 años transcurridos entre estas opiniones y el discurso de Reagan, ¿se ha alcanzado alguna nueva tecnología que justifique el proyecto lanzado por el actual Presidente? En opinión de muchos, y tal como se expone al final de este capítulo, la respuesta es un no rotundo.

Se lee en la prensa que un hecho determinante para el lanzamiento del plan de defensa estratégica lo constituyó, en noviembre de 1980, el primer ensayo de un nuevo tipo de artefacto. Según un artículo de la revista *Aviation*

*Week and Space Technology*, en el terreno de pruebas nucleares de Nevada se logró que una bomba nuclear produjera, durante la explosión, poderosos haces de rayos X. Hay quienes aseguran que si la detonación ocurriera en el espacio, estos haces intensos podrían ser dirigidos contra misiles soviéticos en vuelo que resultarían así destruidos. La imagen de esta arma en acción, llamada láser de rayos X, originó el apodo de "Guerra de las Galaxias" con que se conoce a la Iniciativa de Defensa Estratégica. Desde el anuncio de los primeros detalles de su concepción y diseño, la idea de un láser de rayos X encontró oposición en científicos independientes que consideran imposible su construcción y utilización efectiva en un ambiente bélico. Además, en opinión de miembros del Congreso norteamericano, el carácter nuclear del artefacto se contrapone con el proyecto, cuyo objetivo principal es volver las armas nucleares "impotentes y obsoletas". En octubre de 1987, R. Woodruff, ex Director de Desarrollo de Armas en Livermore, declaró que Teller dio a Reagan informes falsamente optimistas sobre los ensayos del láser de rayos X. A la luz de estos hechos, es posible sospechar que una defensa basada en tal artefacto sea en gran medida un quimera soñada por los defensores de la SDI.

LAS ARMAS DE LA GUERRA  
DE LAS GALAXIAS:  
¿EDAD CONTEMPORÁNEA?

Al considerar las características generales de las armas que deberían constituir el escudo defensivo que el presidente Reagan anhela, se distinguen dos tipos principales de artefactos: las armas de energía dirigida y las de energía cinética. Las armas de energía dirigida deben, primero, producir suficiente energía para destruir un misil y, segundo, ser capaces de dirigir esta energía con precisión devastadora contra el blanco en movimiento. Tanto un

haz de energía luminosa intensa (láser) como de átomos o partículas subatómicas podría usarse para tal efecto, ya que los haces llegan al blanco prácticamente a la velocidad de la luz y porque transfieren en un tiempo corto una cantidad destructora de energía. La gran velocidad del proyectil (rayo láser o partículas) impediría cualquier acción evasiva del objeto atacado. La gran energía transportada permitiría que una misma arma se defendiera de varios misiles rápidamente, siempre que contara con suficiente potencia. El rayo láser destruye o daña al irradiar la superficie de su blanco con luz intensa, mientras que el rayo de partículas penetra el objetivo atacado causando daño estructural o destruyendo componentes esenciales en el interior. El segundo tipo de artefacto, las armas de energía cinética, lanzarían proyectiles a gran velocidad contra el misil enemigo y lo destruirían debido al impacto directo. Los proyectiles pueden ser masas de varios kilogramos guiadas por sus propios sensores.

Un sistema defensivo típico basado en *armas de energía dirigida*, ya sea que esté instalado en tierra o mar, aire o espacio, deberá incluir: la fuente del haz, un sistema de control para dirigir el haz y mantenerlo apuntando al blanco, y un sistema de disparo que debe identificar el blanco y distinguirlo de posibles señuelos. Estos mecanismos tienen que cumplir requisitos muy estrictos ya que, primero, la energía disparada debe dar exactamente en el blanco después de haber viajado distancias en general muy grandes. Segundo, el haz debe estar enfocado sobre el blanco suficiente tiempo como para causar el daño buscado. Por último, deben ser capaces de reenfocar rápidamente, pues quizá el ataque será masivo.

Hay varios tipos de aparatos de rayos láser en estudio dentro del proyecto Guerra de las Galaxias. Uno de ellos es Sigma Tau, un láser químico que construye la compañía Rockwell en un lugar oculto en las montañas de Santa Susana, cerca de Los Ángeles. Este trabajo, encargado por la Fuerza Aérea, comenzó secretamente en 1976

y su objetivo central es demostrar que es posible construir láser potentes y compactos que puedan ser puestos en órbita por el transbordador espacial. El Sigma Tau actual necesita ir montado sobre una plataforma que pesa 150 toneladas para poder mantener el rayo fijo sobre un punto. Como comparación, se puede indicar que la capacidad de carga del transbordador para órbitas polares es de unas 15 toneladas. La Rockwell, que en 1984 ganó 50 000 000 de dólares en trabajos relacionados con la SDI, también está encargada de producir fuentes de energía para las plataformas defensivas en el espacio. La solución más probable para este asunto sería la instalación de un reactor nuclear en cada plataforma, ya que las necesidades de energía serán del orden de los 100 000-700 000 watts continuos en cada base. En total, se necesitarán al menos 100 reactores en órbita. Hay que notar que estas plataformas "defensivas" espaciales podrían transformarse en perfectas armas "ofensivas" contra satélites en órbita y blancos en la atmósfera o, posiblemente, sobre la superficie.

Además de la Rockwell, otras compañías trabajan diseñando modelos de láser que puedan alcanzar los 25 000 000 de watts que son necesarios para destruir un misil. La TRW, que tiene contratos por 100 000 000 de dólares con el gobierno estadounidense para artefactos de la Guerra de las Galaxias, ha fabricado un láser químico llamado Miracl, que fue el primero en producir más de 1 000 000 de watts de potencia irradiada, y trabaja en otro llamado Alpha, que parece haber resuelto el problema de la extracción de los componentes químicos de la reacción en ausencia del campo gravitatorio terrestre. Otros tipos más novedosos de rayos láser son el excimer y el láser de electrones libres, ambos también en sus primeras etapas de fabricación como instrumentos bélicos.

Los haces de partículas subatómicas pueden transferir mayor parte de su energía al blanco que los rayos láser, pues no son reflejados en la superficie del objeto atacado. Las exigencias para un haz de partículas de uso militar



—entregar una gran corriente en pulsos que se repitan rápidamente— son diferentes de aquellas del uso científico de un acelerador y se opina que esta tecnología se encuentra aún más atrasada que la de los rayos láser.

El trabajo más importante en haces de partículas se realiza en laboratorios del gobierno y no en compañías privadas. En Lawrence Livermore ya se construyó el Acelerador de Pruebas Avanzadas, un acelerador lineal de cientos de metros de largo y 50 000 000 de dólares de costo, que produce haces de electrones de 50 MeV de energía y 10 000 amperes de intensidad de corriente. El uso de este aparato es el estudio de la propagación de un haz cargado y pulsado en la atmósfera. En el laboratorio de Los Álamos se lleva a cabo el programa Caballo Blanco, destinado a producir haces de hidrógeno neutro de 2 MeV de energía después de tres metros de aceleración. El objetivo del proyecto es determinar la factibilidad militar de los aceleradores de partículas. Se piensa utilizar estos rayos en la defensa antimisil y antisatélite.

Las *armas de energía cinética* basan su funcionamiento en la posibilidad de lanzar con precisión absoluta un proyectil interceptor contra un misil enemigo en vuelo. En Florida, la corporación Martin Marietta trabaja diseñando cohetes interceptores de misiles. Hace 20 años esta compañía logró construir el primer interceptor para el ejército. Se llamaba Sprint, alcanzaba misiles a gran altura en sólo unos segundos, y llevaba en su interior una bomba de neutrones que debía explotar cerca del blanco. El Sprint era parte del sistema nacional antimisiles Safeguard, que fue suspendido en 1976 por inútil y costoso. Ahora, la Martin Marietta construye interceptores no nucleares para la SDI. Estos cohetes son autoimpulsados y transportan un explosivo químico para destruir al misil. Debido al tipo de carga explosiva, estos interceptores deberán llegar a pocos metros del blanco y a gran velocidad. La compañía también está construyendo un vehículo antisatélites, que es liberado de un avión *jet* y asciende hacia

su objetivo guiado por la temperatura del satélite. La temperatura es medida por telescopios infrarrojos y la dirección es determinada por 56 cohetes computarizados.

Una clase importante de armas cinéticas la constituyen los llamados "proyectiles inteligentes" que, después de haber sido disparados, deberían ser capaces de encontrar su blanco mediante el uso de sensores. Estos proyectiles tendrán que pesar algunos kilogramos y ser disparados a altísimas velocidades. El aparato que los lanzará se llama "cañón electromagnético": en vez de utilizar una explosión química, este artefacto usa campos magnéticos sumamente intensos para impulsar los proyectiles a lo largo de guías de metal hasta liberarlos en el espacio. Las aceleraciones que sufra el proyectil dentro del cañón serán millones de veces la aceleración de la gravedad. La compañía Martin Marietta en Orlando se dedica también a esta área de investigación, habiendo logrado acelerar a unas 9 000 veces la gravedad proyectiles normales de unos 80 gramos de peso. El cañón en su estado actual de fabricación mide unos 10 metros de largo y un par de centímetros de diámetro. Uno de los problemas más serios aún no resueltos es la protección de las componentes electrónicas del proyectil inteligente mientras esté sometido a los campos magnéticos intensos de la etapa de aceleración.

Un elemento fundamental dentro del arsenal defensivo es un radar que, orbitando permanentemente en el espacio, sea capaz de crear imágenes de cientos de misiles diferentes a grandes distancias. Un equipo llamado "radar alimentado-en-el-espacio" es fabricado por la compañía Grumman, en Long Island. En vez del plato tradicional para la antena, este radar usa una membrana plástica flexible embebida con antenas pequeñas, que se puede extender como un rollo de papel. La fuente de potencia para las antenas puede ser solar o nuclear y está incluida en el diseño. La característica principal de este radar es su levedad y al mismo tiempo resistencia estructural. El modelo real, capaz de distinguir entre varios misiles diferen-

tes a distancia, deberá ser del tamaño de varios estadios de fútbol. Los modelos con que se cuenta actualmente, sin embargo, no miden más de un metro cuadrado. El gobierno estadounidense ha gastado unos 15 000 000 de dólares en los últimos 10 años en este proyecto con la Grumman. Finalmente, mencionamos un elemento esencial para la Guerra de las Galaxias: el computador que deberá, en pocos segundos o a lo más minutos, tomar todas las decisiones que en una guerra normal tomarían miles de expertos, comandantes en jefe de las fuerzas armadas, y jefes de Estado, durante semanas o meses de deliberación. Como seguramente la primera batalla de una guerra nuclear será también la última, el computador deberá estar programado con anticipación para resolver cualquier contingencia, y deberá hacerlo por primera y única vez sin cometer un solo error.

#### POSIBLES RESPUESTAS DE LA URSS

Cuatro días después del discurso del presidente Reagan, el entonces líder soviético Yuri Andropov declaraba que, de ser real, la iniciativa de defensa norteamericana abriría las compuertas de una carrera armamentista acelerada tanto defensiva como ofensiva. Ante la duda frente a la capacidad soviética de desarrollar su propio escudo defensivo, hay quienes opinan que actualmente la URSS se encuentra en desventaja frente a los Estados Unidos en áreas como telecomunicaciones, sistemas de guía remota, *software* y computadores avanzados, sensores, rayos láser y óptica, pero que lleva una clara ventaja en su capacidad para poner equipo pesado en órbita. Hoy en día es la Unión Soviética la única nación que cuenta con un sistema defensivo antimisiles ubicado alrededor de Moscú equipado con 68 cohetes antimisiles balísticos. Hay que mencionar que, en opinión de muchos, este equipo defensivo resultaría ser esencialmente transparente a cualquier ataque masivo en su contra.

Mucho más sencillo que diseñar un sistema defensivo soviético propio sería establecer estrategias para burlar el escudo defensivo estadounidense. Quizá este sea el punto más difícil de defender para aquellos que creen en el proyecto SDI. La primera reacción posible de la URSS podría ser aumentar el número de vehículos lanzadores de misiles antibalísticos para utilizarlos como señuelos. Se sabe que actualmente existen unos 1 000 cohetes lanzadores que no transportan cargas explosivas y que se producen unos 150 nuevos cada año. La URSS podría lanzar un ataque en que se mezclen vehículos lanzadores no armados con cohetes provistos de misiles nucleares y el sistema defensivo estadounidense se vería enfrentado entonces a un ataque masivo en que una fracción de su poder se desperdiciaría en destruir señuelos. Otra contramedida soviética posible sería simplemente aumentar el número de misiles o el número de cabezas nucleares que transporta cada uno de ellos. Hay que recordar que las cantidades límites hoy respetadas se originan en un tratado no ratificado. Además, en los años 70 y como respuesta al escudo defensivo soviético alrededor de Moscú, los Estados Unidos aumentaron en nueve años de 2 000 a 7 000 el número de cabezas nucleares en su arsenal. Otra estrategia antidefensa sería el utilizar en el ataque misiles cruceros capaces de volar a baja altura contra los cuales serían impotentes los mecanismos de defensa con base en rayos láser. Estos misiles podrían ser lanzados por submarinos o aviones.

No se descarta tampoco un posible ataque directo a los instrumentos defensivos, mediante la detonación en el espacio de armas nucleares que dañen o destruyan las estaciones orbitales, o un ataque dirigido contra los centros de control y de envío de información que se deberán encontrar estacionados en tierra. La URSS podría poner en órbita minas espaciales cercanas al instrumental estadounidense que sean detonadas antes de un ataque o después de éste.

En diciembre de 1986, el Kremlin presentó a la prensa internacional un libro titulado *Armas en el espacio: el dilema de la seguridad*, en que se discuten posibles mecanismos para "eliminar" o "neutralizar" la defensa norteamericana. Los medios considerados por los propios soviéticos son los mismos aquí discutidos. El principio rector de las contramedidas es destruir el escudo defensivo a un costo menor que el pagado por los Estados Unidos en su construcción y mantenimiento.

¿ES REALISTA SIQUIERA  
PENSAR EN DEFENDERSE?

A partir de los argumentos recién discutidos, parecería que la idea de un escudo defensivo es una utopía, simplemente porque resulta más fácil y menos costoso desarrollar estrategias ofensivas que lo penetren. Basar la seguridad nacional en el poder de la defensa requiere que ésta sea perfecta: una sola falla y todo está perdido. Existe, además, un efecto desestabilizador asociado a un escudo defensivo, aunque no sea perfecto. La nación que lo posea podría intentar un primer ataque contra el oponente, con la seguridad de que su escudo será capaz de defenderla de la respuesta posiblemente imperfecta.

Pero, a pesar de todo lo planteado, ¿es al menos posible desde un punto de vista técnico construir las armas con que el presidente Reagan sueña para su país? Como es de esperarse, la comunidad de políticos, científicos y técnicos asociados a los laboratorios bélicos considera que los avances necesarios para construir e instalar los instrumentos defensivos son posibles si se cuenta con un presupuesto suficientemente elevado. Para el año fiscal 1988 Reagan ha solicitado al Congreso un total de 6 000 millones de dólares dedicados a mantener programas de investigación relacionados con la Iniciativa de Defensa Estratégica, 2 000 millones más que el año anterior, transformando así la Guerra de las Galaxias en el proyecto

que reciba —si es aprobada la petición presidencial— el mayor aumento financiero dentro del Departamento de Defensa.

En abril de 1987 se publicó un informe elaborado por un grupo de estudio de la Sociedad Norteamericana de Física sobre la "Ciencia y tecnología de las armas de energía dirigida". El comité de 15 miembros, que incluía a reconocidos académicos universitarios —un Premio Nobel entre ellos— y a científicos de los laboratorios nacionales dedicados al desarrollo de armas, trabajó durante año y medio teniendo acceso a documentación clasificada y además recibió asesoría permanente de agencias del gobierno, laboratorios nacionales y contratistas privados. El objetivo del trabajo era realizar un estudio independiente e imparcial que evaluara el estado actual de la ciencia y la tecnología de las armas de energía dirigida, y que sirviera como punto de referencia técnica para las discusiones públicas sobre asuntos relacionados con la SDI. Las conclusiones del estudio están contenidas en un volumen no clasificado de más de 800 páginas y se originan en el estudio del estado actual de los rayos láser y haces de partículas energéticas de gran intensidad. Las conclusiones son contundentes:

Aunque durante las últimas dos décadas se ha logrado progreso substancial en muchas de las tecnologías relativas a las armas de energía dirigida, al Grupo de Estudio encuentra vacíos significativos en la comprensión científica e ingenieril de muchos asuntos asociados con el desarrollo de estas tecnologías. La solución exitosa de estos asuntos es crítica para la extrapolación hacia los niveles de funcionamiento que se requerirán en un sistema de defensa antibalística efectivo. En este instante no hay suficiente información como para decidir si las extrapolaciones requeridas podrán o no lograrse. La mayoría de los elementos esenciales para un sistema de armas de energía dirigida necesitan mejoras de varios órdenes de magnitud. Debido a que los elementos están interrelacionados, las mejoras deben lograrse de un

modo mutuamente consistente. Nosotros estimamos que incluso en las condiciones más favorables, se necesitaría una década o más de investigación intensa para conseguir el conocimiento técnico necesario para una decisión informada sobre la efectividad potencial y la capacidad de supervivencia de los sistemas de energía dirigida. Además, los asuntos importantes de integración global del sistema y efectividad dependen críticamente de información que, por los que nosotros sabemos, aún no existe.

Los resultados de este estudio, como puede suponerse, no fueron bien recibidos por los defensores de la SDI.

La magnitud de los planes pro SDI puede apreciarse en la siguiente propuesta conocida en diciembre de 1986. El Instituto Marshall, organismo no gubernamental que apoya la iniciativa de defensa, publicó un informe en que se dan pautas a seguir a corto plazo con el fin de lograr el "debut" de la Guerra de las Galaxias al comienzo de los años 90. Se propone una defensa antimisiles basada en armas de energía cinética organizadas en tres etapas diferentes. Se utilizarán unos 11 000 vehículos cinéticos destructores, por ejemplo: cañones electromagnéticos que lanzarán proyectiles a gran velocidad contra los misiles soviéticos en etapas de despegue y posdespegue. Miles de satélites en órbita y sensores estacionados en tierra y aire enviarán información de las trayectorias seguidas por los proyectiles a las computadoras que calcularán lo que sea necesario para que éstos den en el blanco. Otros 10 000 vehículos interceptores de reentrada se lanzarían desde tierra contra las armas a mitad de camino entre la URSS y los Estados Unidos. Para destruir aquellos misiles que lograran salvarse de lo anterior, unos 3 000 interceptores defensivos atmosféricos serían lanzados desde la superficie. El costo del sistema inicial propuesto es de 54 000 millones de dólares y el total es de 121 000 millones. Se estima que solamente la operación del sistema completo costaría entre 10 000 y 15 000 millones de dólares adicionales, por año. En abril de 1987, el secretario de

Defensa Caspar Weinberger manifestó el acuerdo del gobierno con las sugerencias del Instituto Marshall y ha pedido al Congreso la rápida aprobación del presupuesto solicitado para 1988 de modo de acelerar la "Fase I" de la Guerra de las Galaxias.

En vista de las dudas técnicas sobre el éxito de un plan defensivo como el deseado por el presidente Reagan y otros argumentos de estrategia política, se piensa que el Congreso realizará cortes substanciales en el presupuesto presentado. Son muchos los que opinan que la SDI desaparecerá en el momento en que Ronald Reagan deje la presidencia. Mientras Tanto, la Guerra de las Galaxias ya ha costado 5 000 millones de dólares en gastos directos y las peticiones son cada año mayores.

---

## IX. El costo de la carrera armamentista

CADA año se gastan en el mundo cerca de un millón de millones de dólares en armamentos de todo tipo, tanto convencionales como nucleares. Esto quiere decir que en cada minuto que pasa se invierten casi 2 000 000 de dólares en la industria de la guerra. Dividiendo el total del gasto bélico por la población mundial actual, nos corresponden unos 200 dólares a cada uno, por año. La cifra mundial de gastos bélicos aumenta aproximadamente en 3% cada año, porcentaje mucho mayor que el aumento de la población y que el crecimiento económico para el mismo periodo. ¿Cuáles son los países que más gastan? Los Estados Unidos y la Unión Soviética ocupan los primeros lugares con gastos supuestamente similares (no es fácil saber con precisión la magnitud del gasto militar de la URSS), cada uno con más o menos 25% del total. Los países de la OTAN y los del Pacto de Varsovia gastan 13% cada grupo,



y de hecho todo el resto, 25% del total de los gastos militares del mundo (unos 250 000 millones de dólares al año), corresponde a países en vías de desarrollo.

De los 250 00 millones de dólares que los Estados Unidos destinan a defensa anualmente, 22% corresponde a armas nucleares. A continuación damos el costo de algunos de los sistemas más caros dentro de los arsenales nucleares actuales. Las cifras mencionadas se refieren solamente al costo del sistema sin incluir el costo de las bombas nucleares que transporta; esto debería hacer aumentar en 10 0 20% la cantidad citada. El submarino tipo Tridente, del cual los Estados Unidos planean tener 25 unidades, cuesta 1 600 millones de dólares cada uno. Un costo similar tiene el equivalente soviético, llamado Tifón. Cada misil tipo Crucero o Pershing II, de los cuales hay instalados en Europa 464 y 108 unidades, respectivamente, cuesta unos 7 000 000 de dólares. Un solo avión bombardero del tipo B-1B, de los cuales se espera tener 100 unidades en las fuerzas armadas estadounidenses, tiene un costo de 400 000 000 de dólares. La operación de los bombarderos de la serie B-52 (263 aviones actualmente en uso) cuesta 7 500 dólares la hora, y el costo anual de operación de los B-52 alcanza lo 2 000 millones de dólares.

Las cifras anteriores sugieren que construir y mantener el arsenal actual de las grandes potencias ha de ser un excelente negocio para aquellos que de él se saben beneficiar. En los Estados Unidos los beneficiados son principalmente las compañías privadas (Tenneco, McDonell Douglas, General Dynamics, Boeing, Lockheed, Hughes, Rockwell y General Electric, entre otras muchas) y los laboratorios nacionales dedicados al diseño, construcción y venta de los nuevos modelos; en la Unión Soviética es el propio gobierno el encargado de mantenerse en un nivel de avance comparable al estadounidense. Y parte del negocio es también la venta de armas a otros países que las deseen o crean necesitarlas. Cada año, los Estados Unidos exportan más de 10 000 millones de dólares en equipo

bélico, siendo sus clientes más importantes Arabia Saudita, Israel, Australia y la República Federal Alemana.

El presupuesto solicitado al Congreso por R. Reagan en el año 1987 para ser ejercido el próximo, asigna 303 000 millones de dólares a los gastos del Pentágono. En los últimos años, el presupuesto militar estadounidense ha llegado a ser 8% del Producto Nacional Bruto y 30% del presupuesto total de la nación. En 1980, al ser elegido Reagan, el gasto militar alcanzaba 5% del PNB y 23.7% del gasto federal total. ¿Qué áreas dejan de beneficiarse actualmente debido al aumento porcentual de los gastos de defensa? Daremos como ejemplo las cifras para el área de Investigación y Desarrollo (I&D). En 1978, durante la administración de J. Cáster, todos los proyectos de I&D recibieron en total 27 000 millones de dólares de apoyo federal. Aproximadamente 50% de esta suma se orientaba a proyectos de defensa y el resto se dividía entre proyectos de investigación en áreas de salud, ciencias espaciales, ciencia básica, energía, recursos naturales, transporte, y agricultura, entre otros. Diez años después, al completar Reagan su último periodo presidencial, Defensa ha aumentado más de 3 veces y media su presupuesto de I&D (44 000 millones de dólares solicitados para el año fiscal 1988), mientras que todas las otras áreas se han mantenido esencialmente constantes (Figura 10). Tal como se discutió en el capítulo anterior, el mayor aumento dentro de la investigación bélica se ha solicitado para el proyecto de Iniciativa de Defensa Estratégica. ¿Quién financia estos gastos? En gran parte el ciudadano norteamericano por medio de sus impuestos, pero de modo más general el resto del mundo mediante los pagos de los altísimos intereses actuales de la deuda externa. Latinoamérica sola está pagando unos 20 000 millones de dólares cada año por el servicio de su deuda, cercana a 300 000 millones.

El mayor gasto bélico corresponde a las dos grandes potencias, que son además los dos países con mayores presupuestos totales del mundo. Pero, por otro lado, los

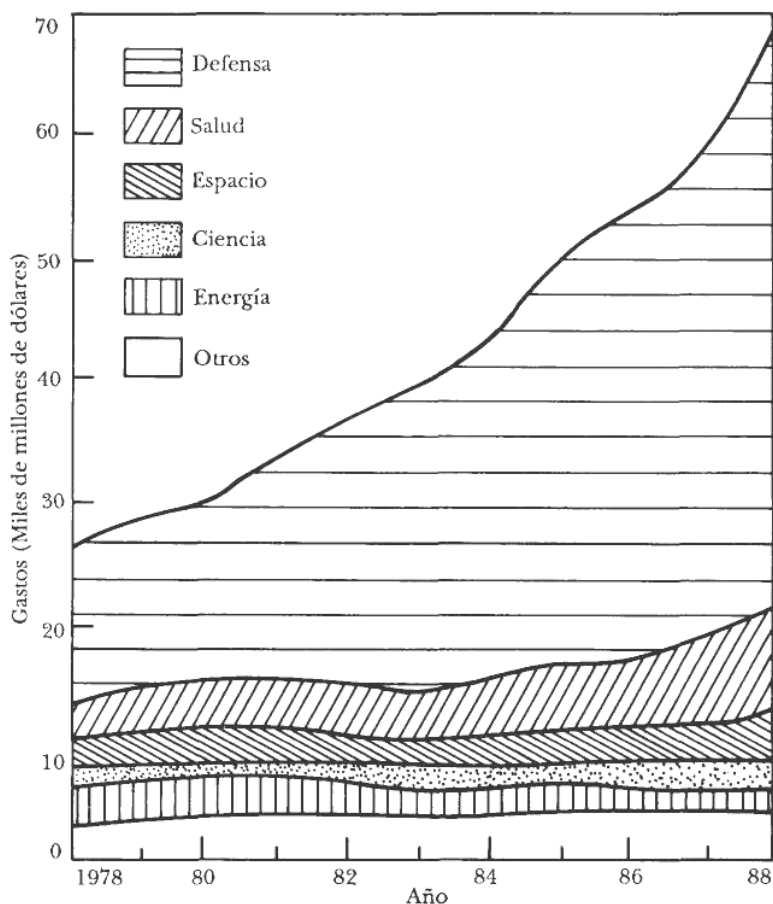


Figura 10. Gastos del gobierno norteamericano en Investigación y Desarrollo de diversas actividades durante los últimos 10 años. Las cifras para 1988 se estiman a partir del presupuesto presentado.

gastos en armamento de nuestros países en desarrollo no son nada despreciables en términos absolutos y menos aún si consideramos el precario estado de las economías y niveles de vida de la población. Baste comparar la cantidad de 250 000 millones de dólares gastados actualmente en defensa durante sólo un año por el Tercer Mundo con

la deuda externa que agobia el desarrollo actual de nuestros países (y lo seguirá agobiando por años) y notar que ambas cantidades son comparables. En Latinoamérica, los gastos de defensa representan fracciones considerables del gasto del gobierno central: en Nicaragua 16%, en Argentina 11%, en Chile 12%, en Perú 23%, y en Ecuador 10%, entre otros. Sin duda, es necesario para todo país proteger su seguridad nacional, pero para países en desarrollo el destinarle cantidades relativamente tan importantes merece un estudio cuidadoso de prioridades. No es sólo el dinero gastado en armas en vez de alimentos, salud o educación para el pueblo, sino también el empleo de algunos de los ciudadanos mejor adiestrados en el aspecto técnico en actividades que no producen necesariamente mejores niveles de vida para la comunidad.

En 1981 se conoció un estudio de la UNICEF destinado a solucionar la situación de los 500 millones de niños más pobres del mundo. Entregarles una mínima asistencia sanitaria, agua potable y condiciones higiénicas básicas, alimentación y educación elemental costaría 100 000 millones de dólares. Ésta es solamente una entre miles de alternativas humanas de inversión para las cantidades millonadas que hoy en día se gastan en la guerra. Los niveles de gasto bélico actuales resultan vergonzosos para un mundo en el cual todavía hay niños que nacen para morir de inanición.

---

## X. Esperanzas y desesperanzas

SIENDO Roben McNamara secretario de Defensa estadounidense, se realizó una estimación del tamaño del arsenal nuclear que sería suficiente para destruir a cualquiera de las dos potencias. El resultado, conocido como "el criterio

McNamara", fue que con 400 megatones dirigidos contra las ciudades principales y los centros industriales se lograría la muerte de un tercio de la población y la destrucción de 75% de la capacidad industrial. Con este daño, la rendición del país atacado se consideraba asegurada.

Los 40 años de carrera armamentista nuclear han llevado al mundo a producir y mantener 40 veces más armas que las necesarias para vencer a cualquier enemigo. Paradójicamente, este exceso ha transformado los arsenales nucleares en acumulaciones de equipo que no se puede usar, ya que usarlo equivale a ser destruido por la respuesta del atacado. Las armas nucleares hoy en día no sirven para nada, excepto para amenazar y transformar en millonarios a quienes las fabrican.

Pero, debido a su magnitud actual, la sola existencia de los arsenales pone en grave peligro la supervivencia de la humanidad. Bastaría un error técnico, una falla en las comunicaciones entre los jefes de Estados Unidos y la Unión Soviética, una guerra local entre dos países cualesquiera que aumentando sus proporciones involucre a las grandes potencias, o incluso la acción aislada de un gobernante fanático de alguno de los países del "club nuclear", para desencadenar un conflicto que en pocos minutos puede acabar con la vida de miles de millones de personas y afectar seriamente a todo el resto de seres humanos. Sólo han pasado cuatro décadas desde el descubrimiento de la fisión nuclear y ya se ha llegado al punto de amenazar la vida del planeta. ¿Podemos imaginarnos lo que otras décadas traerán consigo si no se produce un cambio radical en la política armamentista mundial?

En 1983, los obispos católicos de los Estados Unidos publicaron la Carta pastoral sobre la guerra y la paz invitando a los católicos estadounidenses a "asumir las responsabilidades humanas, morales y políticas" necesarias para salvar a la humanidad del holocausto nuclear. La aplicación de principios morales a las opciones políticas existentes llevó a los obispos a plantear evaluaciones

específicas, juicios y recomendaciones sobre la dirección de la política estratégica actual de los Estados Unidos. Luego de recalcar que "sin cesar, debemos decir no a la idea de una guerra nuclear", se recomienda un control efectivo de armas nucleares conducente al desarme mutuo, la ratificación de tratados pendientes, y el desarrollo de alternativas no violentas, entre otras sugerencias. Estos pasos, según la Pastoral, "tendrían que ser parte de una política exterior que reconozca y respete las demandas de los ciudadanos de todas las naciones a los mismos derechos inalienables que nosotros atesoramos. La perspectiva de que en el mundo interdependiente de hoy todos necesitan afirmar su naturaleza y destinos comunes, debería informar nuestra visión política y posición negociadora en busca de la paz".

Los autores P. Craig y J. Jungerman del libro *Carrera armamentista nuclear*, analizan, desde una posición de seguridad nacional para los Estados Unidos, las medidas posibles para disminuir el riesgo actual de que estalle una guerra nuclear. Concluyen que el objetivo inmediato de los Estados Unidos debería ser disuadir a los soviéticos y a cualquier otro país que considere agredirlos. Para lograr esto es necesario un arsenal nuclear, pero un arsenal mínimo, una pequeña fracción del actual. Con arsenales que sean unas 100 veces menores que los actuales sería posible contar con sistemas defensivos eficientes no sólo contra los ataques de la otra potencia, sino contra cualquier ataque. La reducción propuesta traería además beneficios secundarios, por ejemplo: grandes cantidades de dinero disponibles para solucionar parte de los graves problemas que sufre el mundo actual, y la posibilidad para miles de personas ahora dedicadas a trabajos militares de utilizar su inteligencia, inventiva y conocimientos en una actividad más gratificante que la industria de las armas. Craig y Jungerman proponen ocho puntos concretos como objetivos a corto plazo para disminuir efectivamente la carrera armamentista:

- 1. Firmar un Tratado de Prohibición Absoluta de Pruebas Nucleares, evitando así la creación de nuevas formas de armas nucleares.
- 2. Ratificar (por parte de los Estados Unidos) el Tratado de SALT II, poniendo un límite al número de ICBM de cada potencia.
- 3. Anunciar públicamente una política de no primer uso para armas nucleares por parte de los Estados Unidos.
- 4. Crear zonas libres de armas nucleares en Europa, de modo similar a la situación latinoamericana de hoy en día. (En la fecha en que se escribe este libro, esta idea está siendo estudiada por los representantes soviéticos y estadounidenses en las conversaciones de desarme que ocurren en Ginebra.)
- 5. Trabajo vigoroso por parte de las dos potencias para evitar la proliferación de armas nucleares.
- 6. Mejoras inmediatas en el *hot Une* que comunica a la Casa Blanca y el Kremlin. En caso de ocurrir una crisis, es imperioso contar con un sistema de comunicación confiable.
- 7. Los Estados Unidos deberían aplicar una política que no buscara la supremacía militar sobre la Unión Soviética en la invención y fabricación de nuevas formas de armas. La historia enseña que más temprano que tarde la Unión Soviética ha logrado emular cualquier innovación estadounidense, resultando en escaladas de la carrera hasta el punto alcanzado en la actualidad.
- 8. Aumentar el intercambio de todo tipo entre los Estados Unidos y la URSS para poder así lograr un acercamiento que facilite las nuevas actitudes que será necesario adoptar.

Suponiendo que a corto plazo se lograran acuerdos de disminución substancial en los arsenales nucleares, ¿qué hacer después? Lógicamente las opiniones al respecto son diversas, y abarcan desde posiciones de abandono total de las armas nucleares hasta el mantenimiento permanente de arsenales reducidos. En todo caso, incluso la obtención de los objetivos más modestos parece una tarea

formidable en vista de las actividades y políticas prevalentes hoy en día.

Los hechos presentados en esta obra señalan que, de producirse la temida guerra, nosotros, habitantes de zonas que tal vez no serían directamente atacadas, seremos no obstante víctimas del conflicto. Al colapso del sistema económico y político del hemisferio norte habrá que agregar los efectos biológicos y físicos sobre nuestro ambiente, que podrían incluso ocasionar nuestra desaparición. Una guerra nuclear no es una guerra entre dos países, ni siquiera en un continente, es la destrucción del planeta tal como lo conocemos hoy día. E igual como compartiremos las consecuencias, debemos compartir la responsabilidad para lograr que nunca se vuelvan a usar armas nucleares en contra de seres humanos. Algunos de nuestros países tienen la capacidad de fabricar su propio armamento, algunos de nuestros países no han ratificado los tratados que mantienen el aparente equilibrio actual, algunos de nuestros países se comprometen en guerras locales contra vecinos (cercanos y lejanos) que amenazan la paz mundial. Hay mucho por hacer en la dirección de la paz y el desarme y a nosotros nos toca parte del trabajo.

Concluimos esta obra con las palabras de un latinoamericano, el Premio Nobel de Literatura Gabriel García Márquez, quien en 1986 se dirigió al mundo desde Ixtapa, México, en un llamado por la paz y la justicia:

Desde la aparición de la vida visible en la Tierra debieron transcurrir 380 millones de años para que una mariposa aprendiera a volar, otros 180 millones de años para fabricar una rosa sin otro compromiso que el de ser hermosa, y cuatro eras geológicas para que los seres humanos —a diferencia del abuelo pitecántropo— fueran capaces de cantar mejor que los pájaros y de morir de amor. No es nada honroso para el talento humano, en la edad de oro de la ciencia, haber concebido el modo de que un proceso multimilenario tan dispendioso y colosal, pueda regresar a la nada de donde vino por el arte simple de oprimir un botón.





ESCRIBO este apéndice en 1995, siete años después de haberse publicado la primera edición de este libro. Ha sido un periodo rico en cambios políticos y económicos que han repercutido en la situación armamentista nuclear. Describiremos brevemente los hechos principales.

A fines de mayo de 1988 se firmó en Moscú el Tratado de Fuerzas Nucleares de Alcance intermedio, conocido por sus siglas como IMF. Este acuerdo, previamente aprobado por el Senado de los Estados Unidos y el Soviet Supremo de la URSS, fue obra de los presidentes R. Reagan y M. Gorbachov y consecuencia directa del nuevo estilo de relaciones entre las dos potencias. Por primera vez desde el inicio de la carrera armamentista ambas uniones accedían a destruir todo un tipo de armas nucleares, los misiles tácticos con alcances entre 500 y 5 500 kilómetros. Los Estados Unidos poseían 859, y la Unión Soviética 1836 de estas armas, las cuales fueron desarmadas y destruidas por cada potencia en presencia de observadores y expertos del otro país. A pesar de que las cantidades representaban una fracción muy pequeña del total, la desaparición de ese arsenal liberó a Europa de las armas de alcance medio instaladas en ese continente, y redujo considerablemente la tensión en la región. También es importante resaltar que el proceso de verificación del cumplimiento del acuerdo acercó a los equipos técnicos de ambas potencias y abrió cauces a futuros acuerdos que

serían firmados en un clima de confianza mutua inimaginable pocos años antes.

Al mismo tiempo en que se firmaba el tratado IMF, se firmaban otros dos acuerdos: uno según el cual cada potencia se compromete a dar un aviso previo 24 horas antes de cualquier ataque con misiles balísticos (disminuyendo así el riesgo de que se inicie una guerra nuclear como respuesta a un lanzamiento no intencionado), y otro, en que ambas uniones se comprometen a realizar trabajos científicos para perfeccionar técnicas de detección de ensayos nucleares a distancia. El notable progreso que se ha logrado en este sentido es uno de los factores más importantes hoy en día en favor de un acuerdo de prohibición absoluta de ensayos nucleares.

Tres años más tarde, en 1991, y después de unos 10 años de conversaciones esporádicas entre los líderes respectivos, los presidentes Gorbachov y G. Bush firman el primer Tratado de Reducción de Armas Estratégicas, START. Este acuerdo marcó un nuevo hito en las relaciones entre los EEUU y la URSS, ya que por primera vez se destruirían armas estratégicas, es decir, de alcance mayor a los 5 000 kilómetros, y en esta ocasión sí se trató de cantidades importantes, aproximadamente un tercio del total. Los plazos para llevar a cabo estas acciones incluyen la década de los años 90, y al completar las destrucciones exigidas se regresará a los niveles del arsenal mundial que existían al comienzo de los años 80. START fue ratificado por el Congreso estadounidense en octubre de 1992 y sus cláusulas han sido cumplidas por ambas partes.

Se estima que a mediados de 1994 quedaban unas nueve mil cabezas nucleares estadounidenses en estado "operacional", es decir aquellas que no están en reserva, ni por ser desarmadas. Muchas de las cabezas sacadas de submarinos y de misiles, incluyendo la bomba B53 de nueve megatones, han sido pasadas a la "reserva". A los 450 misiles intercontinentales llamados Minuteman II se les han quitado las ojivas nucleares, y los misiles se están retirando.

do de sus silos en las bases en Dakota del Sur, Montana y Missouri. Para el año 2003 los 500 Minuteman III quedarán armados con sólo una cabeza nuclear, la que antes portaba el misil MX. Los últimos tres submarinos *Poseidon* se retiraron de circulación en abril de 1994. De los submarinos, ahora solamente quedan los *Tridente*, con un número máximo de 18 para 1999, y sin planes de aumentar su cantidad. A fines de 1994 quedaban unas 950 cabezas tácticas en el arsenal de los Estados Unidos, comparadas con las 12000 de 1984. Desde 1991, y por decreto presidencial, se sacaron las armas nucleares de los barcos y submarinos estadounidenses y ahora se mantienen almacenadas en tierra.

El desmembramiento de la URSS iniciado en 1991 redujo la amenaza de un conflicto entre superpotencias, pero presentó un nuevo problema, aquél de la definición de la propiedad, y por ende la responsabilidad, de las armas soviéticas. El arsenal de la URSS no se encontraba todo en suelo de la república de Rusia, sino que las ahora independientes repúblicas de Ucrania, Belarús y Kazajistán pasaron a ser países poseedores de armas nucleares. La URSS se había mostrado dispuesta a continuar la eliminación de su parte del arsenal, y había firmado en julio de 1991 un nuevo START con los Estados Unidos, que contemplaba reducciones aún mayores, de aproximadamente otro tercio del arsenal. Este tratado no ha sido puesto en práctica ni ratificado por los poderes legislativos. En mayo de 1992, las cuatro repúblicas ex soviéticas que poseían armas nucleares firmaron un protocolo en el que se comprometían a eliminar en un plazo de siete años todas las armas nucleares existentes en Ucrania, Belarús y Kazajistán, ya fuera repatriándolas a Rusia, o bien destruyéndolas. De esta manera, Rusia se transformó en el único depositario de la potencia nuclear de la ex URSS, con el compromiso de consultar a las otras tres naciones antes de un posible uso de las armas.

Y ¿qué ocurrió con la Iniciativa de Defensa Estratégica

de Reagan? Pues lo que se veía venir con años de anticipación. Tan pronto como los republicanos dejaron la Casa Blanca, el programa desapareció de las prioridades estadounidenses. Todavía para el año fiscal 1993, el último del presidente Bush, el SDI consiguió unos 4000 millones de dólares en el congreso. Sin embargo, el 13 de mayo de 1993 se anunció "el fin de la era de la Guerra de las Galaxias". En los diez años que duró, se gastaron unos 32 mil millones de dólares, sólo en gasto directo; y sobra decir que no se consiguió el objetivo de "volver las armas nucleares impotentes y obsoletas", y ni un solo sistema de armas defensivas surgido de la iniciativa fue nunca puesto en uso práctico. El proyecto SDI ha cambiado de nombre, ahora se llama Defensa con Misiles Balísticos, y se concentrará en el desarrollo de sistemas basados en tierra, similares a los misiles *Patriot* que fueron usados por los estadounidenses en la Guerra del Golfo para defenderse de los misiles *Scud*.

Respecto de los ensayos de armas nucleares, en octubre de 1992 EEUU decidió suspender los suyos temporalmente, a pesar de que el congreso había aprobado una disposición que permitía algunos tipos de prueba. Rusia y Francia también declararon una moratoria en 1992. En 1993 el presidente Clinton decidió extender la abstención de los Estados Unidos, y el Reino Unido siguió el ejemplo. En medio de este ambiente de buena voluntad, China realizó un ensayo en octubre de 1993.

Es posible que estas actitudes "positivas" de los países del club nuclear estén influidas por la cercanía de mayo de 1995, fecha en que se deberá discutir el futuro del Tratado de No Proliferación (TNP). Los países fuera del club (aquellos que no poseen armas nucleares) exigen como condición para aceptar continuar con el TNP que, por lo menos, los del club dejen de probar nuevos modelos de armamento y se comprometan a un cese total de ensayos. Durante estos últimos años se ha seguido discutiendo el establecimiento de un tratado de prohibición total de en-

sayos nucleares. Además de dificultar el diseño de nuevos sistemas bélicos, una prohibición de este tipo haría más difícil la proliferación. Ya se cuenta con técnicas sismológicas (y estaciones instaladas en muchos puntos del planeta) que permitirían controlar el cumplimiento de un tratado de prohibición total. Desde 1986 se operan estaciones de control sísmico conjuntamente entre los Estados Unidos y las repúblicas soviéticas. La técnica de control se basa en la distinción entre las ondas sísmicas de alta frecuencia generadas por una explosión respecto de otros eventos, como por ejemplo, temblores.

Si en estos últimos años se han reducido los arsenales de los dos países "grandes", han surgido problemas con algunos de los "chicos". Primeramente, Sudáfrica reconoció en 1993 haber mantenido durante 30 años un programa secreto destinado a la fabricación de armas nucleares "para uso pacífico". Hay evidencias de que las cantidades de material altamente enriquecido que se lograron en este tiempo eran suficientes para la detonación de algunas bombas. Recién elegido, el presidente F. W. de Klerk ordenó en 1989 la suspensión total del plan y presentó al Organismo Internacional de Energía Atómica un inventario de las instalaciones y materiales del proyecto. En 1991 ofreció la adhesión de su país al Tratado de No Proliferación. En este momento, Sudáfrica está sometido a las salvaguardias del OIEA y se da por hecho que todas sus instalaciones bélicas han sido destruidas, y el material enriquecido, puesto bajo la administración del Organismo.

Al finalizar la Guerra del Golfo, en 1991, se descubrió que Iraq poseía un programa bélico nuclear, con instalaciones de alto nivel y cantidades aún pequeñas de material nuclear enriquecido. Quizás lo más grave del descubrimiento haya sido constatar que todo este desarrollo ocurrió a pesar de las inspecciones de salvaguardias del OIEA, ya que Iraq era país adherente al Tratado de No Proliferación. Las inspecciones de la ONU revelaron la

existencia de plantas de separación electromagnética para enriquecer uranio, aparentemente diseñadas a partir de información no clasificada proveniente del Proyecto Manhattan y construidas con instrumental proveniente de Alemania, Suiza y los EEUU, todos países signatarios del TNP. Después de largas investigaciones en suelo iraquí, se consiguió la destrucción de las instalaciones y el embargo del combustible descubierto. Sin embargo, el conocimiento que llevó a Iraq a esta etapa de desarrollo bélico sigue en manos y mentes iraquíes, por lo que la amenaza está vigente. Esta falla seria en las salvaguardias del OIEA ha provocado una revisión profunda de los mecanismos de control, y nuevas propuestas serán necesarias para obtener la renovación del TNP en mayo de 1995.

Por otro lado, estos últimos años han traído algunas noticias positivas en el ámbito de la seguridad nuclear. Primeramente, el número de países signatarios del TNP ha aumentado, en parte por la adhesión de muchas de las repúblicas ex soviéticas, en particular tres de las cuatro "nucleares" se han declarado interesadas solamente en el uso pacífico de la energía nuclear, pero también gracias a la firma del TNP por dos países del club nuclear que aún no firmaban: Francia y China. Francia, al adherirse, ofreció un protocolo de salvaguardias que somete solamente sus actividades nucleares civiles al control del OIEA.

En América Latina se han logrado algunos avances en cuanto a acuerdos que limiten un posible desarrollo nuclear bélico. Argentina y Brasil, que no habían accedido a las condiciones de inspección requeridas por el TNP, llegaron a un acuerdo en que ambos renuncian a sus programas para producir armas nucleares y aceptan un programa mutuo de control de instalaciones nucleares. Ambos países ratificaron el Tratado de Tlatelolco en 1994, e igualmente lo hizo Chile.

Podemos resumir estos siete años diciendo que las situaciones que representaban mayores riesgos de una guerra

nuclear han desaparecido, gracias sobre todo a la desaparición de la Unión Soviética. El tamaño de los arsenales comenzó a disminuir de manera importante, y el nuevo estilo de relaciones entre los EEUU y Rusia ha hecho alejarse la amenaza de un enfrentamiento directo. Pero, al mismo tiempo, han surgido problemas nuevos, sobre todo asociados a la seguridad del material nuclear. No es totalmente claro qué está ocurriendo con las toneladas de uranio y plutonio enriquecido provenientes de las cabezas nucleares desmontadas, ni con parte del material nuclear y piezas posiblemente sustraídas de las instalaciones que quedaron en repúblicas ex soviéticas sin medios de control eficaces. Estos años han demostrado que países considerados no nucleares pueden llegar a un nivel de desarrollo suficiente como para hacer detonar un artefacto. Estos países estarán sin duda muy interesados en adquirir conocimientos, instrumentos y combustible nuclear. Las amenazas han cambiado. Pero aún quedan sobre la superficie terrestre muchas veces más armas de las necesarias para destruir nuestro planeta.





## BIBLIOGRAFÍA

- P. P. Craig y J. A. Jungerman, *Nuclear Arms Race*, McGraw-Hill, Nueva York, 1986.
- R. Junk, *Más brillante que mil soles*, Argos, Barcelona.
- D. J. Rebles, *The Physicists*, Vintage Books, Nueva York, 1979.
- S. Bulbulian, *La radiactividad*, Colección La Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica, México, 1987.
- Physics Today*, marzo 1983, mayo 1987, noviembre 1989, agosto 1991, julio 1992, noviembre 1992, junio 1993, noviembre 1994.
- New Scientist*, 17 agosto, 1991.
- OIEA Boletín*, varios números de 1991-1994.
- Science*, 23 diciembre 1983.
- The Bulletin of the Atomic Scientists*, julio/agosto 1994.
- The New York Times*, 3-8 marzo, 1985.
- Carta Pastoral sobre la Guerra y la Paz*, obispos estadounidenses, 1983.



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
I. QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA UNA BOMBA NUCLEAR . . .	11
II. HISTORIA DE LA PRIMERA BOMBA .....	17
III. HISTORIA DE LAS 45 000 BOMBAS SIGUIENTES . . .	33
La "Edad Antigua" .....	33
La "Edad Moderna" .....	37
IV. TRATADOS DE CONTROL DE ARMAS NUCLEARES . . .	40
V. LOS EFECTOS DE UNA EXPLOSIÓN NUCLEAR ....	48
Efectos inmediatos.....	51
Efectos tardíos .....	59
VI. UN MEGATÓN SOBRE LA CIUDAD DE MÉXICO ....	66
VII. LOS EFECTOS MUNDIALES DE UNA GUERRA NUCLEAR .	70
Efectos directos en los lugares bombardeados .....	70
Efectos indirectos para el resto del planeta .....	71
VIII. LA INICIATIVA DE DEFENSA ESTRATÉGICA O "GUE- RRA DE LAS GALAXIAS" .....	81
Las armas de la Guerra de las Galaxias: ¿Edad con temporánea? .....	85
Posibles respuestas de la URSS.....	90
¿Es realista siquiera pensar en defenderse? .....	92

IX. EL COSTO DE LA CARRERA ARMAMENTISTA ... ..	95
X. ESPERANZAS Y DESESPERANZAS .....	99
APÉNDICE .....	105
BIBLIOGRAFÍA .....	113













En un día sin viento, se hace detonar a 2 mil metros de altura sobre la plaza central de la ciudad de México una bomba nuclear de un megatón (equivalente a la explosión de un millón de toneladas de TNT). Dos segundos después se ha formado, a la altura de la detonación, una bola de fuego caliente, muy luminosa, y una onda expansiva que choca contra la superficie. En los primeros diez segundos, en un radio de cuatro kilómetros, todas las construcciones quedarán destruidas y no habrá sobrevivientes. Los límites de esta zona son, en círculo, el Aeropuerto, el Palacio de los Deportes, el Parque del Seguro Social, el monumento a la Diana cazadora y el Monumento a la Raza.

En un perímetro de dos kilómetros después de este punto, la presión generada derribará la mayor parte de los edificios, derrumbe que acabará con el 50% de los pobladores de esta zona, pues los vientos adquirirán una velocidad de 300 kilómetros por hora. La explosión se dejará sentir, medio minuto después de la detonación, en el anillo situado a 6 y 11 kilómetros de la plaza. Muchas de las estructuras de los edificios quedarán dañadas y habrá un alto riesgo de incendios debido al calor generado, que causará también quemaduras en la piel de las personas.

Medio minuto después de la explosión, deja de ser visible la bola de fuego, que, al ascender a gran velocidad, produce corrientes de aire que arrastran polvo y restos de las construcciones destruidas, para formar el tristemente célebre hongo nuclear.

Un apocalipsis como no lo soñó San Juan ni ninguno de los que a lo largo de la historia han profetizado el fin de nuestro mundo y que, de no prevalecer la razón, nos guarda a la vuelta de la esquina, es el tema, escalofriante, de *Armas y explosiones nucleares*.

La doctora María Ester Brandan obtuvo su licenciatura en física en la Universidad de Chile y su maestría y doctorado en física en la Universidad de Wisconsin. Actualmente es investigadora del Instituto de Física y maestra de la Facultad de Ciencias, establecimientos ambos de la UNAM, y ha publicado numerosos trabajos sobre física nuclear y dosimetría.

SEP



9 789681 663872

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA  
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA